

PROPUESTA DE REDISEÑO DEL PUENTE “CURTIEMBRES” SOBRE EL RIO OTÚN

**ANDREA CARDONA VERA
DIEGO JARAMILLO PAYAN
JOSÉ HERNÁN MEJÍA
SEBASTIÁN NIETO VALENCIA
KENNY RIBIERE BOTERO**

**SEMINARIO INTERNACIONAL DE ANÁLISIS DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
PUNTES Y TÚNELES**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015**

**PROPUESTA DE REDISEÑO DEL PUENTE “CURTIEMBRES” SOBRE EL RIO
OTÚN**

**ANDREA CARDONA VERA
DIEGO JARAMILLO PAYAN
JOSÉ HERNÁN MEJÍA
SEBASTIÁN NIETO VALENCIA
KENNY RIBIERE BOTERO**

**Tutor Internacional
Dr. FERNANDO SANCHEZ FLORES
Universidad Nacional Autónoma De México**

**Docente Asesor
Ing. ADÁN SILVESTRE GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015**

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	7
GLOSARIO	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	13
1. DESARROLLO DEL ANÁLISIS Y DISEÑO	14
1.1 CONSIDERACIONES INICIALES	14
1.1.1 Definición de puente	14
1.1.2 Partes de un puente	14
1.1.3 Tipos y clasificación	15
1.2 ESTUDIOS PRELIMINARES	19
1.2.1 Estudios topográficos	19
1.2.2 Estudios de hidrología e hidráulica	21
1.2.3 Estudios geológicos y geotécnicos	23
1.2.3.1 Estudios geológicos	23
1.2.3.2 Estudios geotécnicos	24
1.2.4 Estudios de riesgo sísmico	25
1.2.5 Estudio de impacto ambiental	27
1.2.6 Estudios de tráfico	28
1.2.7 Estudios complementarios	29
1.2.8 Estudio de trazos y diseño vial de los accesos	30
1.3 MODELO MATEMÁTICO	31
1.3.1 Modelado matemático general	32

1.3.2 Modelado estructural	32
1.3.3 Estructura del modelo	33
1.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	37
1.5 CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL	38
 2. TRABAJO DE CAMPO APLICATIVO	 42
2.1 LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO	42
2.2 AFORO	42
2.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTRUCTURA	44
2.3.1 Identificación del territorio	44
2.3.2 Localización de la estructura	44
2.3.3 Identificación de la estructura	44
2.3.4 Tipo de puente	45
2.4 IDENTIFICACIÓN VISUAL DE DAÑOS	47
2.5 FORMATO DE INSPECCIÓN DEL PUENTE	50
 3. PARÁMETROS A CAMBIAR	 52
 4. MODELACIÓN EN STAAD V.8. DEL PUENTE PROPUESTO	 55
 5. CONCLUSIONES	 67
 6. RECOMENDACIONES	 68
 BIBLIOGRAFÍA	 69

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Componentes de un puente	14
Figura 2. Representación de un sistema de un grado de libertad	34
Figura 3. Representación de un sistema de dos grado de libertad	36
Figura 4. Diseño de estructuras de acuerdo a su desempeño	39
Figura 5. Desplazamiento de fluencia en método de desplazamientos	40
Figura 6. Levantamiento geometrico del puente actual	42
Figura 7. Mapa político del departamento de Risaralda	44
Figura 8. Localización del puente	44
Figura 9. Tipo de puente existente según estructuración transversal	45
Figura 10. Tipo de puente existente según estructuración longitudinal	46
Figura 11. Tipo de puente propuesto según estructuración transversal	47
Figura 12. Tipo de puente propuesto según estructuración longitudinal	47
Figura 13. Descripción de la superficie del puente	48
Figura 14. Descripción de las juntas de expansión	48
Figura 15. Descripción de andenes y sardinel	48
Figura 16. Descripción de las barandas	49
Figura 17. Elementos de armadura	49
Figura 18. Señalización del puente	49
Figura 19. iluminación del puente	50
Figura 20. Definición de la losa y análisis de elementos finitos	55
Figura 21. Adición de vigas longitudinales y transversales	56
Figura 22. Vista de las vigas longitudinales y transversales	56
Figura 23. Asignación de materiales y dimensiones a las vigas	57
Figura 24. Adición y definición de soportes	58
Figura 25. Adición de las propiedades de la placa	58
Figura 26. Adición de la carga propia	59

Figura 27. Vista de la estructura con la carga propia	60
Figura 28. Asignación de la carga muerta	60
Figura 29. Adición de la carga del andén	61
Figura 30. Vista de la estructura con la carga de los andenes	61
Figura 31. Análisis de las cargas instaladas	62
Figura 32. Asignación carga de vehículo	63
Figura 33. Adición de la carga del sismo en X	63
Figura 34. Adición de la carga del sismo en Z	64
Figura 35. Vista de la estructura del puente en 3D parte lateral	64
Figura 36. Vista de la estructura del puente en 3D parte frontal	65
Figura 37. Vista de la estructura del puente en 3D	65
Figura 38. Tabla de esfuerzos y reacciones	66

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Aforo vehicular del puente curtiembre	43
Tabla 2. Calificación de daños de acuerdo al INVIAS	50
Tabla 3. Calificación de los elementos del puente curtiembres	51
Tabla 4. Parámetros a cambiar del puente curtiembres	52

GLOSARIO

DISEÑO SISMO-RESISTENTE¹: son elementos y características que definen la estructura antisísmica de un edificio. Configuración del edificio. Escala. Simetría. Altura. Tamaño horizontal. Distribución y concentración de masas. Densidad de estructura en planta. Rigidez. Piso flexible. Esquinas. Resistencia Perimetral. Redundancia. Centro de Masas. Centro de Rigideces. Torsión. Periodo propio de oscilación. Ductilidad. Amortiguamiento. Sistemas resistentes.

COLAPSO ESTRUCTURAL²: disminución de la resistencia de una estructura o elemento estructural, por condiciones externas o internas, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción.

FALLA ESTRUCTURAL³: se refiere a un colapso en el cual la estructura se rompe en pedazos. Sin embargo, en la mayoría de los casos el término incluye otras condiciones aparte del colapso, que pueden ser no tan drásticas y aun así llevar a pérdidas grandes.

DUCTILIDAD⁴: se podría definir de una manera sencilla como la capacidad del acero para admitir deformaciones importantes una vez superado el límite elástico, manteniendo al mismo tiempo su capacidad mecánica.

ESTUDIOS PRELIMINARES⁵: son todos aquellos que sirven para obtener los datos necesarios para llevar cabo la elaboración de los anteproyectos y proyecto de un puente.

¹ <http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/DISENO.htm>

² http://www.construmatica.com/construpedia/Colapso_estructural

³ <http://civilgeeks.com/2014/08/03/que-es-una-falla-estructural/>

⁴ CELSA, Grupo. "Ductilidad celsa garantía de seguridad"

<http://www.celsa.com/Pdf/productos/1-ductilidad.pdf>

⁵ TREJO MOLINA, Francisco de J. "Estudios preliminares para el diseño de puentes"

<http://ingenieriacivilcoatza.blogspot.com/2008/10/estudios-preliminares-para-el-diseo-de.html>

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD⁶: es el estudio que dispone el éxito o fracaso de un proyecto a partir de una serie de datos base de naturaleza empírica: medio ambiente del proyecto, rentabilidad, necesidades de mercado, factibilidad política, aceptación cultural, legislación aplicable, medio físico, flujo de caja de la operación, haciendo un énfasis en viabilidad financiera y de mercado. Es por lo tanto un estudio dirigido a realizar una proyección del éxito o fracaso de un proyecto.

GRADOS DE LIBERTAD⁷: número de parámetros de entrada que se debe controlar independientemente con el fin de llevar al mecanismo a una posición en particular.

RIGIDEZ⁸: la rigidez de algo se evidencia por la capacidad de una pieza estructural o de un material sólido para soportar esfuerzos sin sufrir deformaciones ni desplazarse. La cuantificación de la rigidez frente a diversas configuraciones de carga puede expresarse a través de los coeficientes de rigidez, que son magnitudes físicas.

AMORTIGUAMIENTO⁹: en general todo cuerpo en movimiento, tiende a disminuir con el tiempo. La razón de esta disminución está asociada con una pérdida de la energía presente en el sistema. Esta pérdida de energía es producida por fuerzas de amortiguamiento o de fricción que obran sobre el sistema.

⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_viabilidad

⁷ LOPEZ, Israel. "Máquinas y mecanismos, ensayo: grados de libertad."
<http://graadoslibertad.blogspot.com/>

⁸ Definición de rigidez - Qué es, Significado y concepto.
<http://definicion.de/rigidez/#ixzz3QhBnsMEB>

⁹ NARRO JARA, Luis Fernando. "Ingeniería Antisísmica, Dinámica Estructural". Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ingeniería y arquitectura. <http://es.scribd.com/doc/245508834/ingenieria-antisismica>

RESUMEN

Dentro de los variados campos de acción que tiene la ingeniería civil en nuestra sociedad como gestora y ejecutora de proyectos de infraestructura en aras de la mejora de las condiciones de vida de la sociedad, se encuentra la ingeniería de puentes como disciplina que permite salvar obstáculos volviendo más eficientes nuestras vías de transporte y algunos procesos industriales. Para llevar a cabo dichos proyectos de infraestructura, particularmente la concepción y ejecución de puentes es recomendable tener claridad respecto a conceptos concernientes a la clasificación de puentes y sus partes, los estudios preliminares que determinan condiciones físicas y de servicio y criterios de diseño que permitan determinar el modelo matemático, el método de análisis y las características del diseño estructural que respondan a las solicitudes de la estructura durante su vida útil.

Como caso de estudio se propone rediseñar el puente denominado CURTIEMBRES con el fin de hacerle unas mejoras como ampliar la calzada y como paso opcional dado el alto flujo vehicular que se presenta en esta zona industrial, el lugar de la reforma de la obra es el departamento de Risaralda en la vía Pereira-Combia, aproximadamente a 3 Km de la ciudad de Pereira sobre el río Otún, es una estructura que reposa sobre un par de vigas simplemente apoyadas, adicionalmente se realiza el registro fotográfico del estado del puente existente, un levantamiento geométrico del mismo y un aforo del tráfico como datos de referencia para futuros estudios o información relevante para el diseño de la obra propuesta.

Se procede a realizar el diseño estructural acorde con la NSR-10 haciendo uso del programa de modelado de estructuras STAAD V.8 que funciona mediante el análisis de elementos finitos en el campo tridimensional haciendo uso de sistemas matriciales para de resolución de incógnitas.

ABSTRACT

Among the various fields of action that civil engineering in our society as a manager and executor of infrastructure projects in order to improve the living conditions of society, bridge engineering is a discipline that allows returning overcome obstacles streamline our transport routes and some industrial processes.

To perform these infrastructure projects, particularly the design and implementation of bridges is advisable to have clarity on concepts concerning the classification of bridges and bridge sections, preliminary studies that determine physical and service conditions and design criteria for determining the mathematical model, the method of analysis and structural design features that meet the requests of the structure during its lifetime.

As a case study it is proposed to redesign the bridge called CURTIEMBRES to make some improvements as expanding the roadway and an optional step given by the high traffic flow presented in this industrial area, the place of the redesign of the bridge is in the department of Risaralda in Pereira-Combia route, approximately 3 km from the city of Pereira on the Otún river, is a structure that rests on a pair of simply supported beams, a photographic record of the status of the bridge will be made existing geometric lifting thereof and a traffic capacity as reference data for future studies or relevant for the design of the proposed work information.

The structural design is carry out according to the NSR-10 using the modeling program STAAD V.8 structures that works by finite element analysis in three-dimensional field using matrix systems for solving unkowns.

INTRODUCCIÓN

Si bien un puente es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, una carretera, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico “ Gamboa Asch, Federico, *Manual de inspección de puentes* Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica, 1972” también implica salvar una limitación en el ingenio humano forzando a los ingenieros y encargados del diseño a ofrecer soluciones estructurales eficientes y económicamente viables.

Un puente como obra civil contribuye ostensiblemente al desarrollo social y económico dinamizando los procesos y tiempos de movilización, contribuyendo al desarrollo de los diferentes sectores de la sociedad.

Antes de diseñar y modelar un puente se deben considerar ciertas pautas que incluyen: los elementos del tipo de estructura seleccionada, los materiales disponibles para su construcción, la viabilidad económica del proyecto, el funcionamiento del puente según las necesidades de los usuarios, la adecuada distribución de cargas y las normas de diseño.

Para el caso de estudio escogido se procede a la geo-referenciación, recopilación de material fotográfico in situ, identificación de las sollicitaciones de la estructura, se propone la geometría del modelo, tipos de carga y criterios de análisis; con la información anterior se elabora el modelo en concordancia con los parámetros establecidos en el código colombiano de diseño sísmico de puentes INVIAS y la NSR-10, sometiéndolo a condiciones críticas y variadas de análisis con el fin de determinar el comportamiento de la estructura durante su vida útil.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar el diseño estructural del puente propuesto denominado CURTIEMBRES.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer los componentes de un puente y su clasificación.
- Especificar los estudios preliminares necesarios en el diseño estructural de puentes.
- Determinar la geometría y las cargas a las que está sometido el puente CURTIEMBRES.
- Elaborar un modelo del diseño estructural del puente CURTIEMBRES acorde con el código colombiano de diseño sísmico de puentes INVIAS y la norma NSR-10.
- Someter el modelo del diseño estructural del puente CURTIEMBRES a condiciones críticas de carga mediante el programa de modelado de estructuras STAAD V.8.

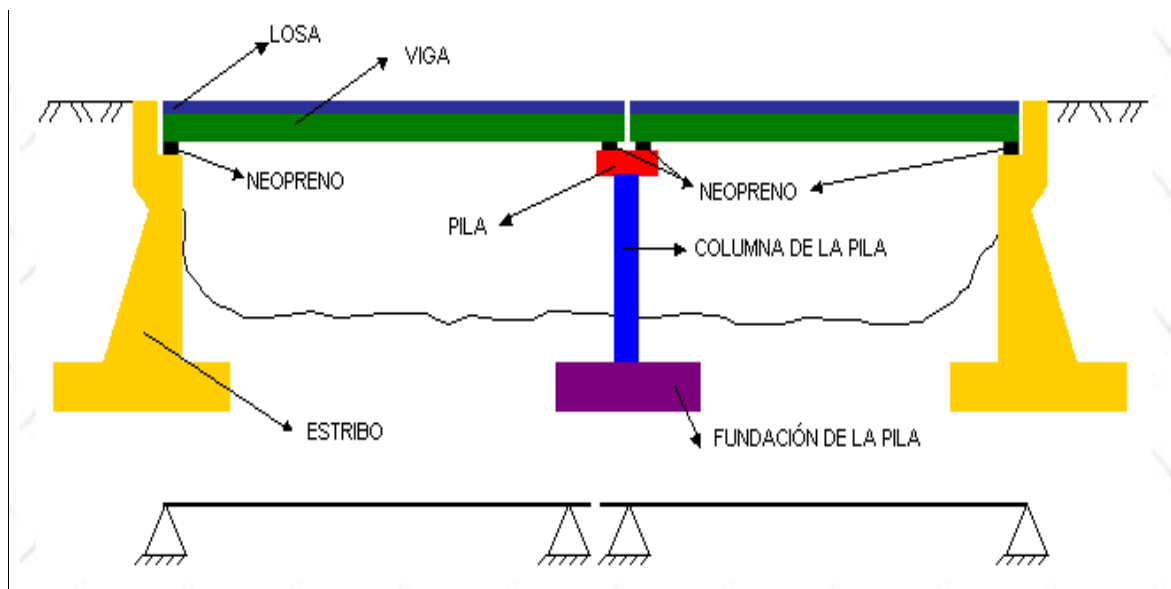
1. DESARROLLO DEL ANÁLISIS Y DISEÑO

1.1 CONSIDERACIONES INICIALES

1.1.1 Definición de puente. Un puente es una construcción de piedra, ladrillo, madera, hierro, concreto, etc., que se construye y forma sobre los ríos, fosos y otros sitios, para poder pasarlos¹⁰. Estructura para unir dos puntos inaccesibles horizontal o verticalmente, diseñada para resistir eficiente y efectivamente las cargas a las que estará sometida¹¹.

1.1.2 Partes de un puente.

Figura 1. Componentes de un puente



Fuente:

<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>

Los componentes de un puente son:

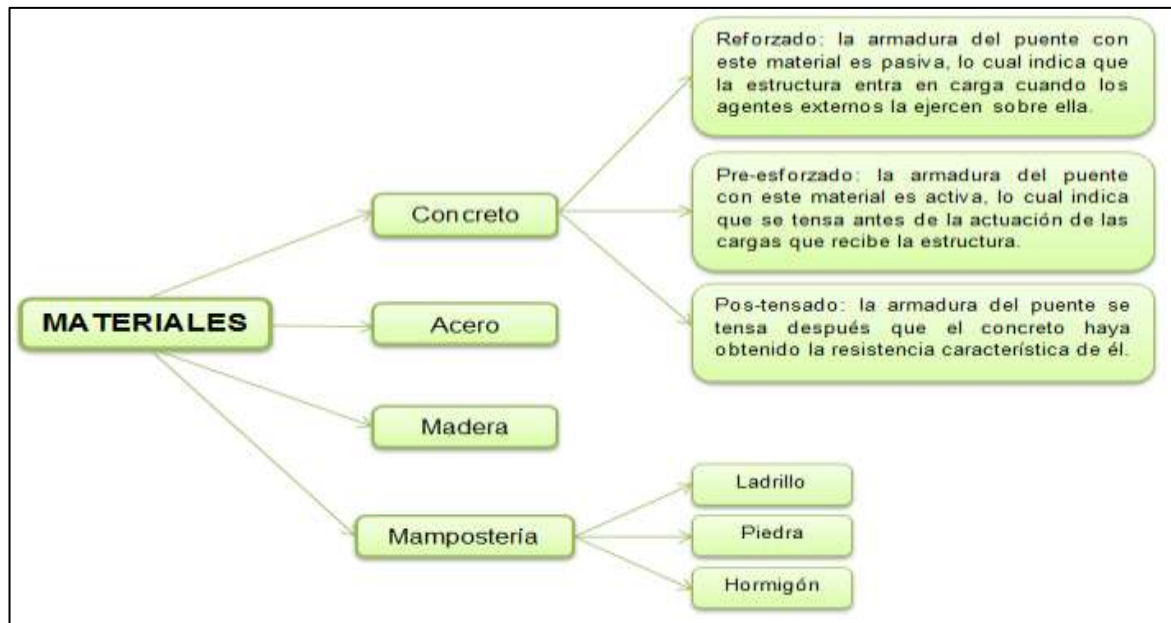
¹⁰ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA <http://lema.rae.es/drae/?val=puente>

¹¹ SÁNCHEZ, Fernando. Curso Análisis y Diseño de Puentes. Universidad Autónoma de México. Pereira. 2015.

- Superestructura: compuesta habitualmente por la estructura superior, que la conforman en su mayoría las vigas, el tablero, pasamanos, accesos, los soportes en los extremos y las luces.
- Subestructura: compuesta por las estructuras que resisten la parte superior, conformada por los pilares, las columnas, y el pie de cada columna.
- Fundación: son los encargados de soportar cada columna, entre ellos los pilotes o cimentaciones¹².

1.1.3 Tipos y clasificación¹³.

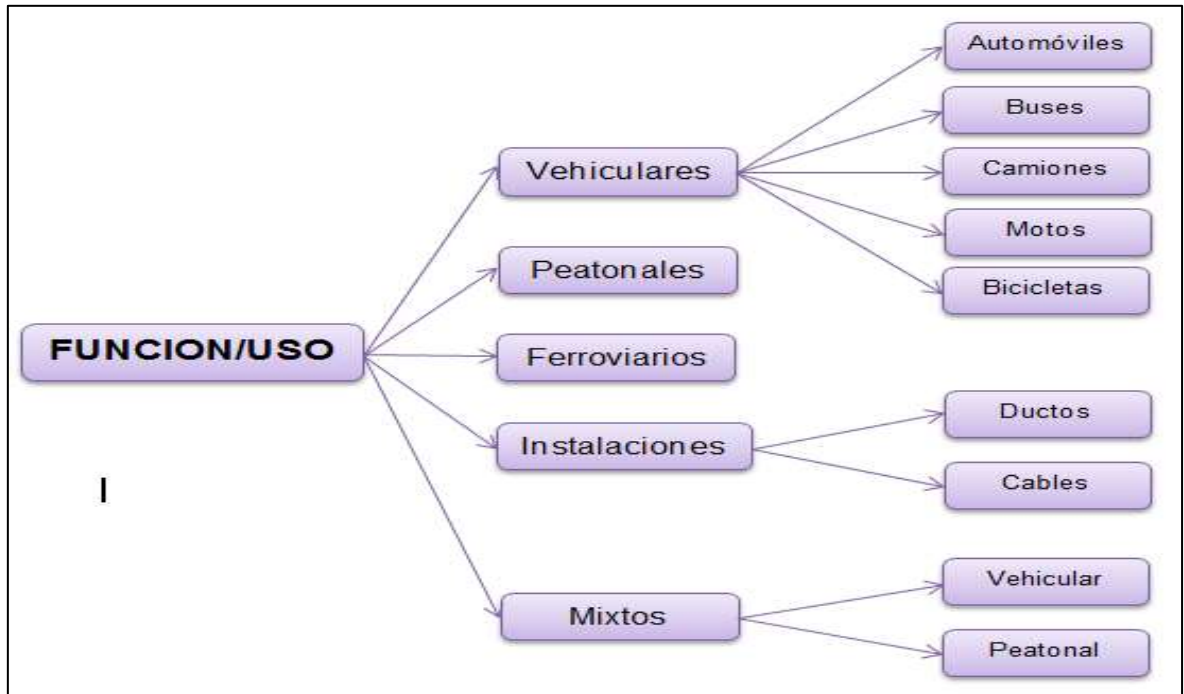
Los puentes se pueden clasificar en diferentes tipos, de acuerdo a diversos conceptos como:



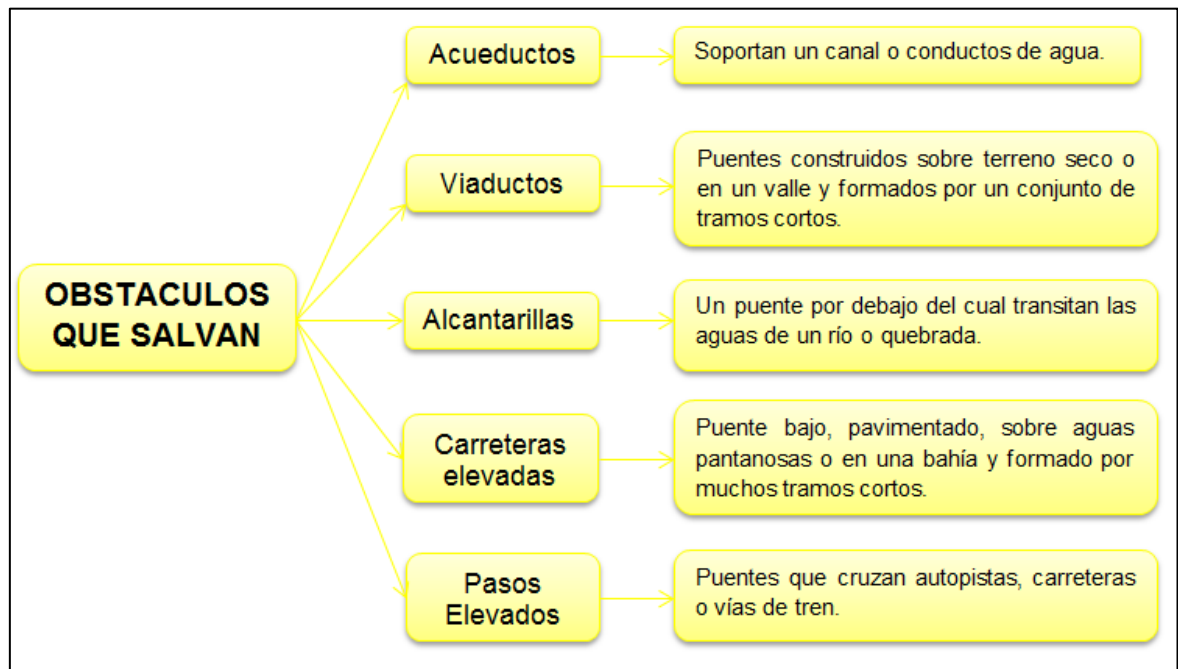
Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.

¹² ibídem

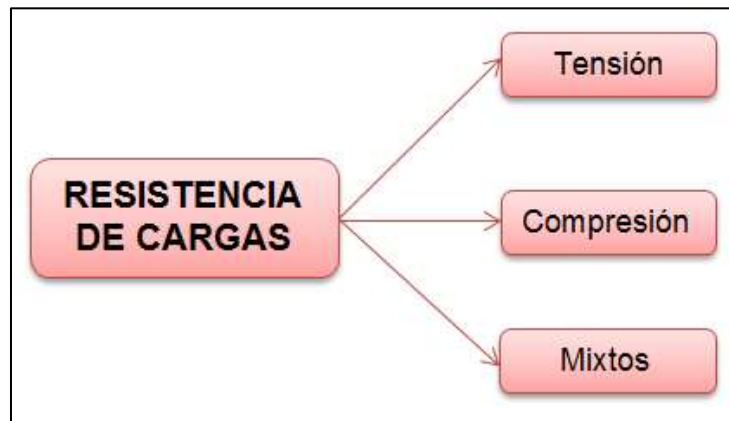
¹³ MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.
<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>



Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.



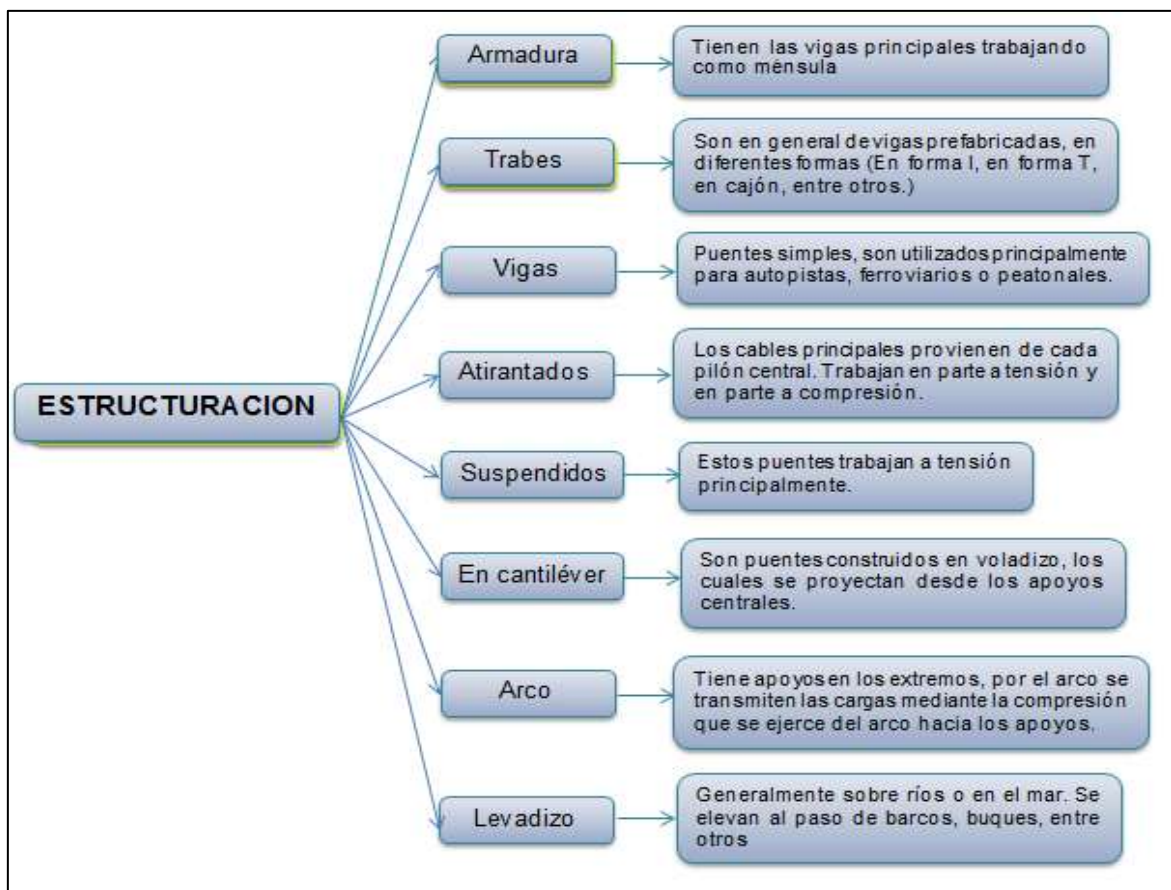
Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.



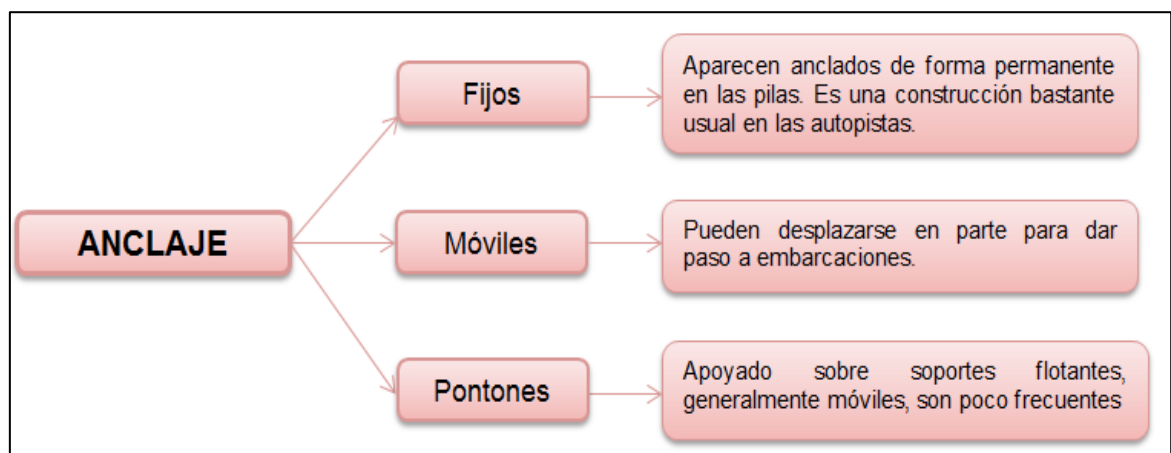
Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. "Tipos de puentes".



Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. "Tipos de puentes".



Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.



Fuente: Realizado por los autores a partir de lo expuesto en el texto MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. “Tipos de puentes”.

1.2 ESTUDIOS PRELIMINARES

Los puentes se encuentran entre las estructuras más antiguas que conocemos hoy, la principal función de un puente es unir dos puntos alejados con un margen adecuado de seguridad, por medio de una serie de elementos estructurales que pueden ser de diversos materiales, para llevar a cabo un proyecto de esta magnitud, es indispensable realizar los estudios básicos que permitan tomar conocimiento pleno de la zona. como parte de los estudios básicos, es igualmente recomendable realizar un estudio y el inventario de la disponibilidad de materiales, infraestructura instalada, mano de obra especializada, equipos, y otros que el proyectista considere de utilidad, los estudios básicos o preliminares son todos aquellos que sirven para obtener los datos necesarios hacia la elaboración de los anteproyectos y el proyecto de un puente Los estudios que pueden ser necesarios dependiendo de la magnitud y complejidad de la obra son:

1.2.1 Estudios topográficos. Al realizar un informe sobre los estudios topográficos llevados a cabo para la construcción de un puente, además de dar el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino en el cual se encuentra, etc., se debe tener en cuenta otros puntos importantes como:

- a)** Realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos correspondientes.
- b)** Proporcionar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales.
- c)** Establecer puntos de referencia para el replanteo durante la construcción.
- d)** Proporcionar información de base para los estudios de hidrología e hidráulica, geología, geotecnia, así como la ecología y sus efectos en el medio ambiente.

Los estudios topográficos deben comprender como mínimo lo siguiente:

- Levantamiento topográfico general de la zona del proyecto, documentado en planos a escala entre 1:500 y 1:2000 con curvas de nivel a intervalos de 1m y abarcando por lo menos 100 m a cada lado del puente en dirección longitudinal (correspondiente al eje de la carretera) y en dirección transversal (la del río u otro obstáculo a ser transpuesto).
- Definición de la topografía de la zona de ubicación del puente y sus accesos, con planos a escala entre 1/100 y 1/250 considerando curvas de nivel a intervalos no mayores que 1 m y con secciones verticales tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal. Los planos deben indicar los accesos del puente, así como autopistas, caminos, vías férreas y otras posibles referencias. Indicar con claridad la vegetación existente.
- En el caso de puentes sobre cursos de agua se debe hacer un levantamiento detallado del fondo. Es necesario indicar en planos la dirección del curso del agua y los límites aproximados de la zona inundable en las condiciones de aguas máximas y mínimas, así como los observados en eventos de carácter excepcional. Cuando las circunstancias lo ameriten, indicar los meandros del río.
- Ubicación e indicación de cotas de puntos referenciales, puntos de inflexión y puntos de inicio y término de tramos curvos; ubicación y colocación de los puntos de referencia.
- Levantamiento catastral de las zonas aledañas del puente, cuando existan edificaciones u otras obras que interfieran con el puente o sus accesos o bien que requieran ser expropiadas¹⁴.

¹⁴ MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2003. Manual de diseño de puentes. Lima. 2003, págs. 10-11

1.2.2 Estudios de hidrología e hidráulica. Los objetivos de estos estudios son establecer las características hidrológicas de los regímenes de inundación, cotas máximas extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación optima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos o aceptables para las características particulares de la estructura.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deben permitir establecer lo siguiente:

- Ubicación optima del cruce.
- Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce.
- Comportamiento hidráulico del rio en el tramo que comprende el cruce.
- Área de flujo a ser confinada por el puente.
- Nivel máximo de aguas (NMA) en la ubicación del puente.
- Nivel mínimo recomendable para el tablero del puente.
- Profundidades de socavación general, por contracción y local.
- Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación según su tipo.
- Obras de protección necesarias.

- Previsiones para la construcción del puente.

El programa de este tipo de estudios debe considerar la recolección de información, los trabajos de campo y los trabajos de oficina, cuya cantidad y alcance es determinado con base a la envergadura del proyecto, en términos de su longitud y riesgo considerado.

Los estudios hidrológicos e hidráulicos deben comprender lo siguiente:

- Evaluación de estudios similares realizados en la zona de ubicación del puente; en el caso de un reemplazo de un puente colapsado es conveniente utilizar los parámetros de diseño anteriores.
- Visita de campo; reconocimiento del lugar tanto en la zona de cruce como de la cuenca global.
- Recolección y análisis de información hidrométrica y meteorológica existente, Caracterización hidrológica de la cuenca, considerada hasta el cruce del curso del agua con base a la determinación de las características de las respuestas de lluvia-escorrentía, y considerando aportes adicionales en la cuenca.
- Selección de los métodos de estimación del caudal máximo de diseño.
- Estimación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y según distintos métodos; en todos los casos se recomienda llevar a cabo una prueba de ajuste de los distintos métodos de análisis para la selección del mejor.
- Selección de secciones transversales representativas del cauce y la obtención del perfil longitudinal.

- Determinación de las características hidráulicas del flujo.
- Determinación de las profundidades de socavación general por contracción total y local.
- Recomendaciones de protección y/o consideraciones de diseño adicionales.

Los puentes ubicados en el cruce con un curso de agua deben ser diseñados de modo que las alteraciones y obstáculos que estos representen ante este curso de agua sean previstos y puedan ser admitidos en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil o se tomen medidas preventivas. Para esto se establecen las características hidrogeodinámicas del sistema fluvial con el objeto de determinar la estabilidad de la obra respecto al comportamiento del cauce¹⁵.

1.2.3 Estudios geológicos y geotécnicos.

1.2.3.1 Estudios geológicos. Los objetivos de estudios geológicos son establecer las características geológicas, tanto local como general de las diferentes formaciones geológicas que se encuentran, identificando tanto su distribución como sus características geotécnicas correspondientes.

El programa de estudios debe considerar exploraciones de campo, cuya cantidad es determinada con base a la envergadura del proyecto.

Los estudios geológicos comprenden:

- Descripción geomorfológica.

¹⁵ TREJO MOLINA, Francisco de J.. Scribe. [En línea] [Citado el: 30 de Febrero de 2015.] <http://ingenieriacivilcoatza.blogspot.com/2008/10/estudios-preliminares-para-el-diseo-de.html#>

- Zonificación geológica de la zona.
- Identificación y características de fallas geológicas.
- Definición de zonas de deslizamientos, huéyancos y aluviones sucedidos en el pasado y de potencial ocurrencia en el futuro.

1.2.3.2 Estudios geotécnicos. Los objetivos de estos estudios son establecer las características geotécnicas, es decir, la estratigrafía, la identificación y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para el diseño de cimentaciones estables.

El estudio debe considerar exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, cuya cantidad es determinada con base a la envergadura del proyecto en términos de su longitud y las condiciones del suelo. Los estudios deben comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos.

Los estudios geotécnicos comprenden lo siguiente:

- Ensayos de campo en suelos y/o rocas.
- Ensayos de laboratorio en muestras de suelo y/o roca extraídas en la zona.
- Descripción de las condiciones del suelo, estratigrafía e identificación de los estratos de suelo o base rocosa.
- Definición de tipos y profundidades de cimentación adecuada, así como parámetros geotécnicos preliminares para el diseño del puente al nivel de anteproyecto.

- Presentación de los resultados y recomendaciones sobre especificaciones constructivas y obras de protección¹⁶.

1.2.4 Estudios de riesgo sísmico. Los estudios de riesgo sísmico tienen como finalidad la determinación de espectros de diseño que definan los componentes horizontales y verticales de un sismo a nivel de la cota de cimentación.

En ningún caso pueden ser las fuerzas sísmicas menores que aquellas especificadas en los títulos A y B de la NSR – 10.

Los alcances de estudios de riesgo sísmico dependen de:

- La zona sísmica donde se ubica el puente.
- El tipo de puente y su longitud.
- Las características del suelo.

Para los casos siguientes se pueden utilizar directamente las fuerzas sísmicas mínimas especificadas en la NSR-10, sin que requieran de estudios especiales de riesgo sísmico para el sitio:

- Puentes ubicados en zona de baja riesgo sísmico, independiente de las características de la estructura.
- Puentes de una sola luz, simplemente apoyado en los estribos, independiente de la zona donde se ubiquen.

¹⁶ MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. Op cit., págs. 15-16

- Otros puentes que no corresponden a los casos explícitamente listados en la siguiente clasificación:

Se requieren estudios de riesgo sísmico para los puentes que se ubiquen en las zonas de alto riesgo, para los siguientes casos:

- Puentes colgantes, puentes atirantados, puentes de arco y todos aquellos puentes con sistemas estructurales no convencionales, siempre que en cualquiera de los casos mencionados se tenga una luz de más de 90 metros.
- Otros puentes, incluyendo puentes continuos y simplemente apoyados de múltiples luces, con una longitud total de la estructura mayor o igual a los 150 metros.

Cuando sea necesario un estudio de riesgo sísmico para el sitio, debe comprender lo siguiente:

- Recopilación y clasificación de la información sobre los sismos observados en el pasado, haciendo referencia a los daños reportados y a la magnitud y epicentro de los eventos sísmicos.
- Antecedente geológico, tectónico y sismo-tectónica y mapa geológico de la zona de influencia.
- Estudio de suelos, definir la estratigrafía y las características físicas más importantes del material de cada estrato. Cuando sea procedente debe determinarse la profundidad del nivel freático.
- Prospección geofísica, determinar velocidades de ondas compresionales y de corte a distintas profundidades.

- Determinación de las máximas aceleraciones, velocidad y desplazamiento en el basamento rocoso correspondiente al sismo de diseño y al máximo sismo creíble¹⁷.

1.2.5 Estudio de impacto ambiental. El proceso constructivo de un puente altera y modifica el medio ambiente y en consecuencia las condiciones socio – económicas, culturales y ecológicas del ámbito donde se ejecuta, es allí cuando surge la necesidad de una evaluación bajo un enfoque global ambiental, esta modificación es positiva para los objetivos sociales y económicos que se tratan de alcanzar, pero en muchas ocasiones la falta de un debido planteamiento en su ubicación, fase de construcción y etapa de operación puede conducir a serios desajustes debido a la alteración del medio.

Los estudios geológicos tienen como finalidad:

- Identificación oportuna del problema ambiental incluyendo una evaluación de impacto ambiental en la concepción de los proyectos, esto conduce a diseñar proyectos con mejoras ambientales y evita, atenuar o compensar los impactos adversos.
- Establecer las condiciones ambientales de la zona de estudio.
- Definir el grado de agresividad del medio ambiente sobre la subestructura y la superficie del puente.
- Establecer el impacto que pueden tener las obras del puente y sus accesos sobre el medio ambiente, a nivel de los procedimientos constructivos y durante el servicio del puente.

¹⁷ WILLIAM L-S. Scribe. [En línea] [Citado el: 30 de FEBRERO de 2015.]
<http://es.scribd.com/doc/105068189/Estudios-preliminares-para-puentes#scribd>

- Definir el grado de agresividad del medio ambiente sobre la subestructura y la superestructura del puente.
- Recomendar las especificaciones de diseño, construcción y mantenimiento para garantizar la durabilidad del puente.

Las evaluaciones de impacto ambiental son establecidas por la autoridad competente y es necesaria sobre todo en aquellos proyectos con mayor potencial para impactar negativamente en el ambiente como son las nuevas estructuras¹⁸.

1.2.6 Estudios de tráfico. Tratándose de un puente, es necesario efectuar los estudios de tráfico correspondientes a volumen y clasificación de tránsito en puntos establecidos, con el objetivo de determinar las características de la infraestructura vial y la superestructura del puente.

Para este estudio se sigue el siguiente procedimiento:

- Conteo de tráfico: se definen estaciones de conteo ubicadas en el área de influencia (indicado en un gráfico), se utiliza personal clasificado, provisto de formatos de campo, para registrar la información acumulada por cada rango horario.
- Clasificar y tabular la información: se debe adjuntar cuadros indicando el volumen y clasificación vehicular por estación.
- Análisis y consistencia de la información: Se lleva a cabo comparando los datos obtenidos por el conteo con estadísticas existentes a fin de obtener factores

¹⁸ SORACA REYES, Blanca. Diseño del puente los yopos. En línea [Citado el: 30 de FEBRERO de 2015.]
file:///C:/Users/Jonathan%20Wayow/Downloads/112-386-1-PB.pdf

de corrección para cada estación.

- Trafico actual: se debe obtener el índice medio diario de los conteos de volúmenes de tráfico y el factor de corrección determinado del análisis de consistencia.

Los estudios se documentan mediante un informe que contiene lo siguiente:

- Resultados de clasificación por tipo de vehículo para cada estación y por sentido.
- Resultados de vehículos totales para cada estación y por sentido.
- Índice medio diario por estación y sentido.
- Plano ubicando las estaciones de conteo e indicando cada sentido.
- Conclusiones y recomendaciones¹⁹.

1.2.7 Estudios complementarios. Se debe realizar coordinaciones con entidades públicas, entidades del sector privado y con terceros a fin de cumplir con todo lo estipulado en los términos de referencia.

Estos estudios se refieren a aquellos trabajos que son complementarios a los básicos, como son las instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, señalización, coordinaciones con terceros y cualquier otro que sea necesario en el proyecto.

¹⁹ MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. Op cit., págs. 26

En lo que se refiere a instalaciones eléctricas la factibilidad del servicio, su punto de aplicación; en lo referente a aplicaciones sanitarias, la verificación y posibles influencias de las redes existentes de agua y desagüe, son coordinadas con los organismos encargados de los servicios de electricidad y saneamiento respectivamente.

La señalización debe estar de acuerdo con las necesidades del puente y los accesos establecidos en el manual de señalización vigente (INVIAS), cualquier imprevisto o problema debe ser coordinado con el municipio correspondiente o con terceros que puedan estar involucrados.

1.2.8 Estudio de trazos y diseño vial de los accesos. Se debe definir las características geométricas y técnicas del tramo de carretera que enlaza el puente en su nueva ubicación con la carretera existente.

Estos estudios contemplan:

➤ Diseño geométrico

- Definición del alineamiento horizontal y perfil longitudinal del eje en los tramos de los accesos.
- Definición de las características geométricas ancho de calzada, bermas y cunetas en las diferentes zonas de corte y relleno de los accesos.

➤ Trabajos topográficos

- Levantamiento topográfico con curvas a nivel cada 1 metro y con secciones transversales cada 10 o 20 metros.

- Estacado del eje con distancias de 20 metros para tramos en tangente y 10 metros para tramos en curva.
- Referenciación de las verticales de la poligonal definitiva y los puntos de principio o fin de las curvas, respecto a marcas en el terreno del concreto debidamente protegido que permitan su fácil ubicación.
- Cálculo de las coordenadas de los vértices de la poligonal definitiva teniendo como referencia los hilos geodésicos más cercanos.

➤ Diseño de pavimentos

- Determinar las características geométricas y dimensiones técnicas del pavimento de los accesos, incluyendo la carpeta asfáltica, base y sub-base.

1.3 MODELO MATEMÁTICO

La matemática²⁰ es un proceso de pensamiento que implica la construcción y aplicación de una serie de ideas abstractas relacionadas lógicamente. Estas ideas, por lo general, surgen de la necesidad de resolver problemas de ciencia, la tecnología y de la vida cotidiana, que van desde como modelar ciertos aspectos de un problema científico complejo hasta el balance de un talonario de cheques.

El modelado matemático en un puente se realiza para emplear técnicas o herramientas matemáticas. Existen paquetes de software con los cuales se pueden dar soluciones a estos problemas.

El modelado matemático es un instrumento utilizado en la actualidad para estudiar disciplinas tan diversas como medicina, hidrología, física, educación, química,

²⁰ http://www.ciens.ula.ve/matematica/estudiantes/pdf/tesis_anteriores/Tesis_BarroetaYelitza.pdf

informática e ingeniería que permiten describir, explicar y predecir fenómenos y procesos que son relevantes para el desarrollo de investigaciones en estas y otras áreas.

1.3.1 Modelado matemático general. Es un esquema²¹, una ecuación, un diagrama o una teoría que simplifica una parte difícil de las matemáticas, haciendo más fácil su comprensión. Un modelado matemático se define como una descripción desde el punto de vista de las matemáticas de un hecho o fenómeno del mundo real, desde el tamaño de la población, hasta fenómenos físicos como la velocidad, aceleración o densidad. El objetivo del modelado matemático es entender ampliamente el fenómeno y predecir su comportamiento.

Con este propósito se emplean modelos matemáticos del puente, que pueden ser de diversa complejidad y conducir a resultados aproximados, los que se utilizan con distintos objetivos, anteproyectos, proyectos ejecutivos, comparación de diseños, etc. Un modelo matemático sencillo puede, en ciertos casos, conducir a resultados aproximados con exactitud suficiente y con ventajas para disminuir posibilidades de error y describir básicamente el funcionamiento de la estructura en vibraciones libres.

1.3.2 Modelado estructural²². Análisis estructural es el proceso de analizar un sistema estructural y pronosticar sus reacciones y comportamientos usando leyes físicas y ecuaciones matemáticas. El objetivo principal es determinar la fuerza interna, tensiones y deformaciones de las estructuras bajo los efectos de carga y varios. El modelado es una herramienta con que se establecen tres componentes:

- Miembros estructurales y componentes, uniones (nodos, conectar con bordes o superficies), y condiciones de limite (soportes y fundamentos)

²¹ ibídem

²² <http://es.scribd.com/doc/144316746/1-Modelos-Matematicos-en-Puentes#scribd>

- Un modelo material
- Un modelo de carga

1.3.3 Estructura del modelo²³. Para evaluar una estructura existente, se realiza un modelo cercano a las condiciones estructurales existentes, se hace la elección correcta del modelado, las herramientas y métodos de análisis. Para llevar a cabo lo anterior se debe tener en cuenta lo siguiente:



Para un modelado matemático de un puente primero se debe simplificar su expresión, es decir, la forma estática de movimiento se representa como sistemas de grados de libertad (GLD) los cuales varían desde uno hasta los que se consideren necesarios para modelar la estructura; es solo la expresión simple del puente donde se tiene la base la cual se representa como empotrada, en su intermedio está el elemento de apoyo principal o columna pilar y al final la masa de la estructura.

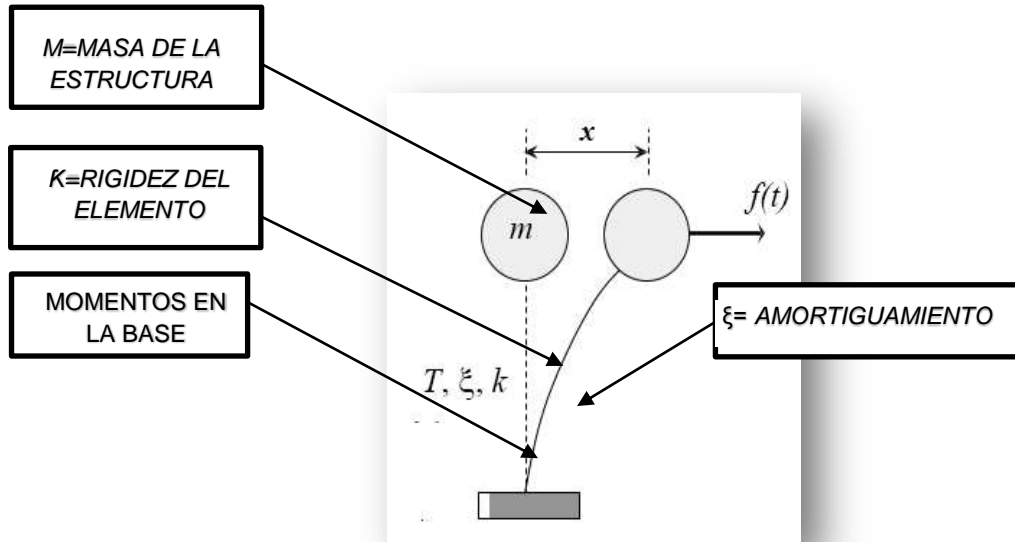
- Modelos de masas concentradas (1GDL)

En la siguiente imagen se ilustra la expresión de un sistema de un grado de libertad (1GDL), simplemente es una masa que solo describe movimiento en una sola coordenada debido a que tiene sus otros movimientos restringidos, con esto se logra calcular la deformación debido a un sismo o fuerza aplicada donde este sistema muestra un desplazamiento en la coordenada x, también permite evaluar el comportamiento del apoyo por que permite calcular el momento debido a la

²³ <http://es.scribd.com/doc/144316746/1-Modelos-Matematicos-en-Puentes#scribd>

fuerza aplicada en su base.

Figura 2. Representación de un sistema de un grado de libertad



Fuente: Seminario de Diseño de Túneles y Puentes/Universidad Libre Seccional Perera/Colombia 2015

El sistema de un grado de libertad se usa para representar sistemas estructurales sencillos desde el punto de vista dinámico, también se requiere conocer el movimiento de la losa cuando su base está sometida a un movimiento sísmico. Para ello, se determina la variación del desplazamiento lateral u durante el movimiento sísmico y después de un cierto tiempo de finalizado el movimiento. Para evaluar la variación del desplazamiento en el tiempo se necesitan plantear una serie de hipótesis simplificadoras. La estructura se representa como un modelo ideal, cuyas propiedades pueden estudiarse y manipularse matemáticamente.

La acción sísmica es, en realidad, un desplazamiento impuesto en los apoyos de

la estructura y puede modelarse tal y como se indica en la siguiente formula, que representa un sistema de un GDL sometido a la vibración de su base:

- FORMULA (1) DE FUERZA SÍSMICA PARA UN SISTEMA DE 1GDL

$$FS = Mx + Cx + Kx \quad (1)$$

- M = masa de la estructura
- C = amortiguamiento
- K = rigidez

La siguiente formula de la rigidez es un cálculo aplicable a estructuras hiperestáticas de barras que se comportan de forma elástica y lineal., también llamado método directo de la rigidez. Este método está diseñado para realizar análisis computarizados de cualquier estructura incluyendo a estructuras estáticamente indeterminada. El método de rigidez directa es la implementación más común del método de los elementos finitos. Los datos que se desconocen de la estructura son las fuerzas y los desplazamientos que pueden ser determinados resolviendo esta ecuación. El método directo de la rigidez es el más común en los programas de cálculo de estructuras.

- FORMULA (2) PARA HALLAR LA RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA

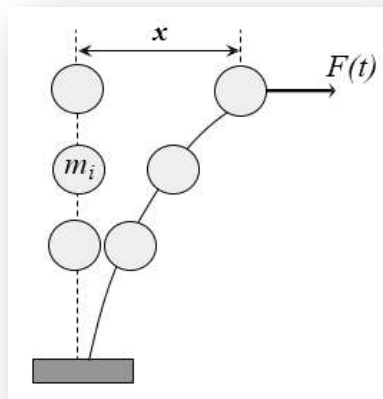
$$K = P/\delta \quad (2)$$

- Modelos de masas concentradas (MGDL)

En la siguiente imagen se ilustra la expresión de un sistema de múltiples grados de libertad (MGDL), a diferencia del modelo anterior este sistema representa más

movimientos en la estructura donde la masa tiene desplazamientos no solo en X sino también en Y y en Z con sus respectivos movimientos rotacionales sobre cada plano; para motivos de análisis de grados de libertad se define como un grado de libertad aquel movimiento independiente de la masa sobre un plano diferente. Este sistema no tiene restricciones sobre los diferentes planos de desplazamiento de la masa estructural (X, Y y Z).

Figura 3. Representación de un sistema de dos grado de libertad



Fuente: Seminario de Diseño de Túneles y Puentes/Universidad Libre Seccional Perera/Colombia 2015

Las ilustraciones anteriores dan una idea de cómo se simplifica de una manera sencilla el comportamiento de una estructura sometida a una fuerza deformante como la sísmica u otras, cualquier tipo de estructura de un puente se puede simplificar a uno de los sistemas anteriores para su posterior análisis y evaluación de comportamiento.

Esta es la forma que se debe tener en cuenta para obtener un comparativo de datos cuando se lleve la estructura a un modelado, por medio de un software el cual arrojará datos los cuales se tienen que interpretar según el criterio; el método

para saber si los datos son correctos o no es la comparación de estos contra los obtenidos manualmente por alguno de los sistemas anteriores; para poder hacer este tipo de comparación se debe conocer la forma en que el sistema obtiene su información que no es más que la simplificación de la estructura a grados de libertad igual al método manual.

1.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Es fundamental tener claridad respecto a tres factores: el entorno con el que coexiste la estructura, características propias de la estructura y una hipótesis de diseño.

El entorno nos determina la necesidad que suple la estructura y los requisitos que debe cumplir para considerarla funcional, es decir, este factor define las fuerzas y el comportamiento de estas en el tiempo como la gravedad, cargas dinámicas por efectos de un sismo, cargas oscilatorias con su respectiva vibración por el tránsito irregular de un vehículo, incrementos ocasionales o periódicos según las estaciones climáticas, diferentes factores que causan la expansión y contracción de los materiales y el comportamiento físico-químico frente a la intemperie.

Las características propias de la estructura son la geometría y los materiales, en conjunto definen el comportamiento mecánico, interactúan directamente con el entorno y a diferencia de este se escogen a conveniencia del diseñador excepto si se trata de una revisión del diseño o un estudio patológico.

La hipótesis de diseño es producto de la experimentación, cuyos resultados han sido acreditados y respaldados por la comunidad científica, es la herramienta conceptual cuyo entendimiento da criterios de diseño, su aplicación suele estar regulada por entes estatales en un documento público que suele ser norma.

Si bien existen hipótesis vanguardistas a partir de las cuales se formulan las hipótesis de diseño futuras, y nos acerca aunque tangencialmente a un entendiendo mayor del comportamiento real de las estructuras, para cuestiones aplicativas debe seguirse la hipótesis establecida en la normatividad vigente.

A la par de la aparición de conceptos y planteamientos de diseño cada vez más complejos, tiene lugar un desarrollo tecnológico en el cálculo de resultados cada vez más precisos y en menor tiempo, dispensando al hombre de actividades repetitivas para permitirle centrarse en el análisis, sacando provecho de las virtudes analíticas de la mente.

1.5 CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural de cualquier estructura busca que ésta sea lo suficientemente resistente para poder disipar la energía liberada durante un sismo. Es primordial evitar daños en las partes más importantes de la estructura porque con ello se puede salvar vidas y evitar costos en rehabilitaciones estructurales.

El diseño por desempeño se emplea generalmente cuando el diseñador tiene dudas acerca de las probabilidades de ocurrencia de sismos que puedan poner en riesgo la estabilidad de la estructura ya que los autores de los reglamentos o normas de construcción tienen incertidumbres sobre qué espectro de diseño emplear pues no existe forma de conocer la magnitud, fecha y duración de un evento sísmico.

Debido a lo anterior, se busca siempre en primer lugar salvaguardar la vida de los usuarios y la funcionalidad de las piezas importantes de la estructura, evitando un comportamiento indeseado que impida su evacuación antes de llegar al colapso si así llega a suceder.

Figura 4. Diseño de estructuras de acuerdo a su desempeño

		Performance Level			
		Functional	Operational	Life Safety	Near Collapse
Seismic Hazard	Serviceability Earthquake				
	Design Earthquake				
	Maximum Earthquake				

SEAOC (1995)

Fuente: Seminario de Análisis y Diseño de Puentes de la Universidad Libre Seccional Pereira. Enero de 2015.

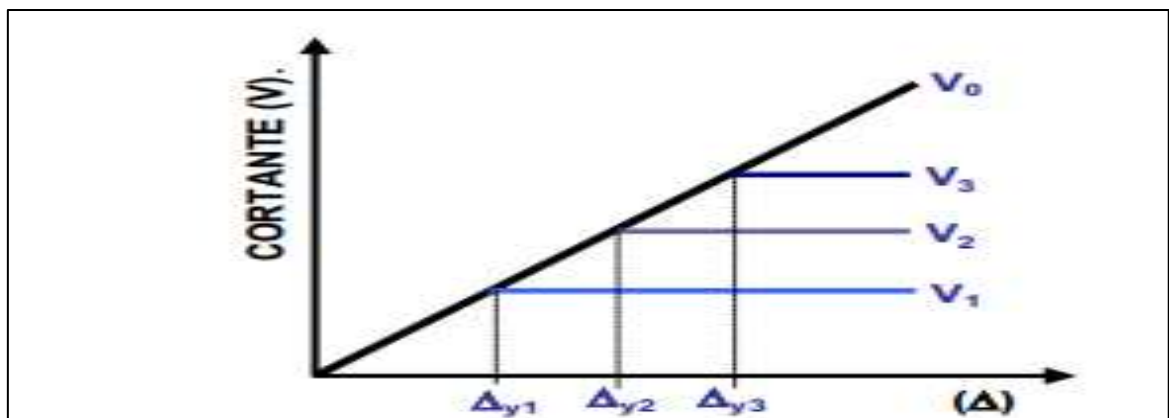
En la actualidad el método de mayor utilización para diseñar estructuras se basa en las fuerzas que actúan sobre la estructura, método con algunos problemas pues si las estructuras se encuentran en condiciones de resistir elásticamente las fuerzas provocadas por el sismo, la relación entre las fuerzas y los desplazamientos inducidos en la estructura será lineal, por el contrario, si la estructura no cuenta con la resistencia necesaria, la relación entre la fuerza y el desplazamiento deja de ser lineal y depende entonces de factores como la rigidez elástica, propiedades inelásticas de los materiales y por la suma de todos los desplazamientos a los que la estructura haya sido sometida anteriormente, estos desplazamientos generan fatiga en las piezas de la estructura debido a las tensiones y deformaciones, provocando grietas o incluso rotura después de un determinado número de desplazamientos.

Los puentes y edificios al ser diseñados por este método, carecen de resistencia adecuada ya que la estructura se “castiga” con una serie de factores de reducción de la misma para dar una respuesta elástica haciendo que la estructura responda

de forma inelástica y poder disipar la energía, causando de esta forma daños en sus elementos.

El método de desplazamientos a diferencia del método de fuerzas utiliza una ductilidad diferente para cada estructura al considerar que la rigidez es independiente de la resistencia, conduce erróneamente a suponer que el desplazamiento por fluencia es directamente proporcional a la resistencia de la estructura.

Figura 5. Desplazamiento de fluencia en método de desplazamientos



Fuente: Diseño Basado en Desplazamientos, una Alternativa Racional al Diseño Basado en Fuerzas. Noviembre de 2009

En el diseño por desplazamientos, se reemplaza una estructura inelástica por un sistema de un grado de libertad, dimensionando primero los elementos estructurales, determinando el desplazamiento al que se va a someter la estructura y tomando como base los límites de deformación, se determina el amortiguamiento de la estructura basado en las demandas de ductilidad y determinando la rigidez y la resistencia requeridas utilizando un espectro de desplazamiento.

Para iniciar un diseño por el método de fuerzas es necesario conocerlas, para

saber el desplazamiento final de la estructura, el método de desplazamiento lo hace al contrario, definiendo en un principio el desplazamiento máximo que se desea permitir a la estructura para finalmente hallar el cortante basal, la resistencia de la estructura y su rigidez.

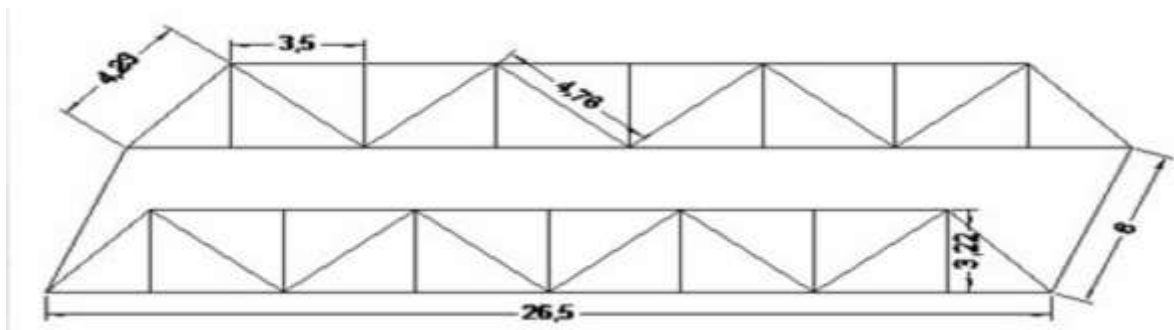
2. TRABAJO DE CAMPO APLICATIVO

Análisis estructural del puente que comunica la vía Pereira-Marsella sobre el Río Otún.

2.1 LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO

Es un puente de cercha de paso intermedio, esta una de las formas estructurales más ampliamente usada en la construcción de puentes de luces pequeñas y medianas. Estos puentes son diseñados en el país por ingenieros colombianos, para luces intermedias hasta los 50 m de luz simple²⁴. Este puente está conformado por: Armadura en acero, cerchas regulares de triángulo-rectángulo con catetos de 3.5 y 3.22 con una hipotenusa de 4.23 y la losa apoyada sobre los costados de la armadura

Figura 6. Levantamiento geométrico del puente actual



Fuente: Los Autores

2.2 AFORO

LUGAR: Puente Curtiembres, ubicado en la vía que de Pereira conduce al municipio de Marsella.

²⁴<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%205/LAS%20CERCHAS%20DE%20PUENTES.htm>

FECHA:

El conteo se realizó los días martes 27 de enero de 2015 y domingo 1 de febrero del mismo año, en dos intervalos de tiempo diferentes durante horas pico y valle.

HORA:

- 7 AM – 9 AM (Intervalo que coincide con hora pico)
- 10 AM – 12 M (intervalo que no coincide con hora pico)

VARIABLES:

La variable considerada en el estudio son el número de vehículos (diferenciados por clases) que cruzan un punto de referencia espacial, tomando como punto de referencia temporal 1 minuto.

Las clases de vehículos a considerar son:

- Automóvil (automóviles particulares, taxis, campero, van)
- Bus, busetas, colectivos y buses de turismo
- Camiones (camiones, furgones grandes, volquetas)

Tabla 1. Aforo vehicular del puente curtiembre

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos	Peso de Vehículos (Kg)
Automóvil	123	1150
Camioneta	101	2900
Bus	15	13900
Willy's	18	1635
Camión	15	12000
Volqueta vacía	3	14400
Volqueta con carga	6	42400

Fuente: Propia

La carga máxima a utilizar en el análisis de las cargas que afectan al puente es: 42.400 Kg lo cual es equivalente a 42.2 Toneladas.

2.3 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA ESTRUCTURA

2.3.1 Identificación del territorio.

Figura 7. Mapa político del departamento de Risaralda

Fuente: http://www.risaralda.gov.co/site/main/web/es/conozcamos-a-risaralda_6

2.3.2 Localización de la estructura.

Vía Pereira – Marsella

Figura 8. Localización del puente



Fuente: <https://earth.google.es/>

2.3.3 Identificación de la estructura. Nombre del puente: No hay indicación del nombre en el sitio, pero se conoce como puente Curtiembres.

Obstáculo que salva: Rio Otún

Época de construcción del puente: según investigaciones el puente fue construido hace 50 años.

2.3.4 Tipo de puente.

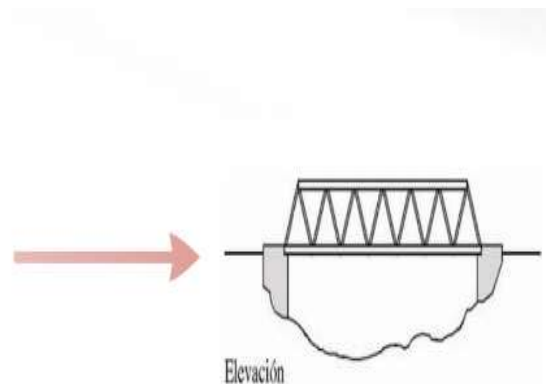
ACTUAL

Según estructuración transversal²⁵

Es un puente de armaduras de paso intermedio muy similar al inferior, estos puentes constan de dos armaduras laterales y vigas metálicas longitudinales y transversales sobre las cuales se apoya la losa del pavimento. Se diferencian de los de paso inferior porque no tienen arriostramiento horizontal como si lo tienen los de paso inferior, la resistencia del puente depende de la capacidad horizontal de sus armadura 1

Figura 9. Tipo de puente existente según estructuración transversal

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Losa sobre vigas
02	Losa simplemente apoyada
03	Viga cajón
04	Armadura de paso superior
05	Armadura de paso inferior
06	Arco superior
07	Arco inferior



Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

²⁵ MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

Según estructuración longitudinal²⁶

Es un puente simplemente apoyado puesto que cuenta con un apoyo y una junta en sus extremos. Son por lo general puentes de pequeñas luces, cuando la distancia que hay que salvar es grande, se ponen más apoyos a lo largo con una serie de juntas.

Figura 10. Tipo de puente existente según estructuración longitudinal

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Vigas simplemente apoyadas
02	Vigas continuas
03	Puente colgante
04	Puente atirantado
05	Pórtico
06	Box culvert

Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

PROPUESTA

Según estructuración transversal²⁷

Según su estructuración transversal es un puente de losa apoyada sobre vigas donde la losa lleva su refuerzo principal en sentido transversal al que lleva el tráfico. Las vigas pueden ser en concreto reforzado, pos-tensado o de acero armado. Son puentes que se encuentran muy a menudo en las vías secundarias de Colombia.

²⁶ ibídem

²⁷ ibídem

Figura 11. Tipo de puente propuesto según estructuración transversal

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Losa sobre vigas
02	Losa simplemente apoyada
03	Viga Cajón
04	Armadura de paso superior
05	Armadura de paso inferior
06	Arco Superior
07	Arco Inferior

Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

Según estructuración longitudinal²⁸

Es un puente simplemente apoyado ya que el apoyo de sus vigas se hace sólo en los extremos.

Figura 12. Tipo de puente propuesto según estructuración longitudinal

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Vigas simplemente apoyadas
02	Vigas continuas
03	Puente colgante
04	Puente atirantado
05	Pórtico
06	Box culvert



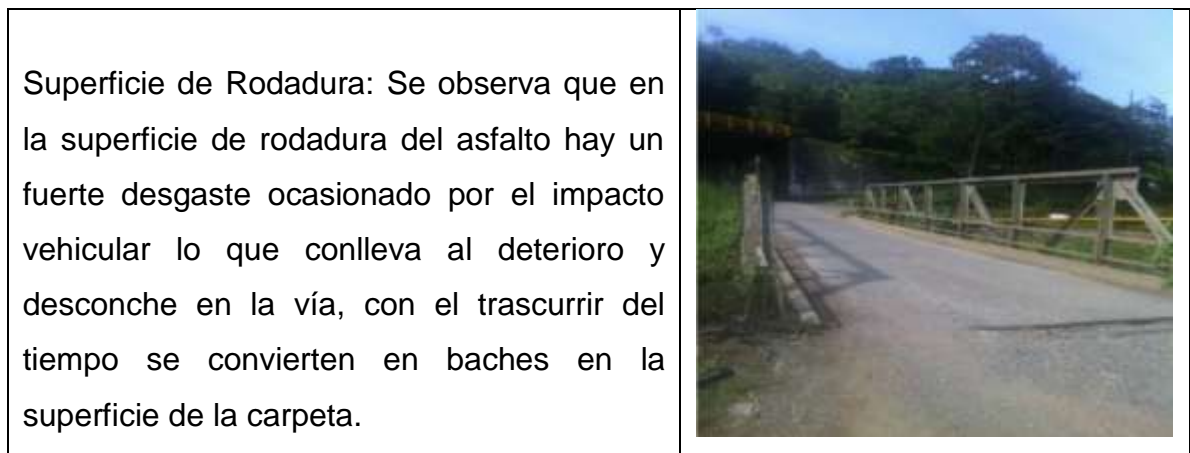
Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

2.4 IDENTIFICACIÓN VISUAL DE DAÑOS

Los daños que presenta el puente actualmente se muestran en las siguientes fotografías:

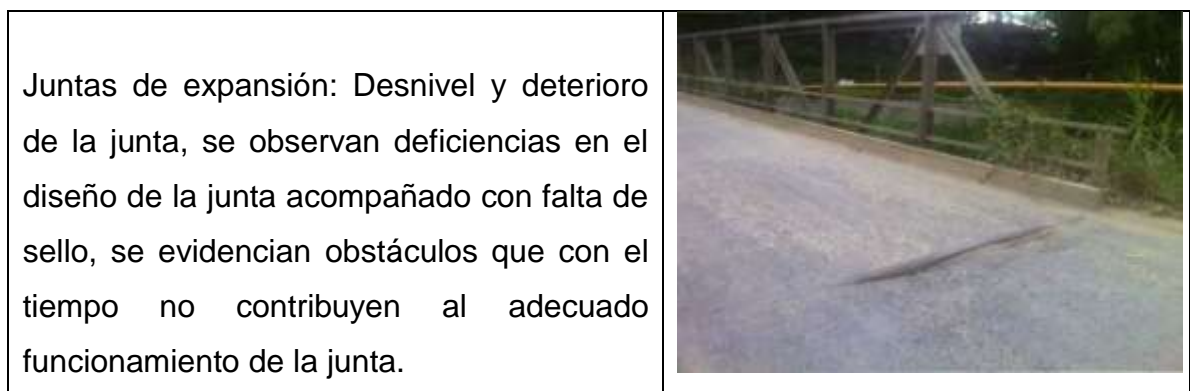
²⁸ ibídem

Figura 13. Descripción de la superficie del puente



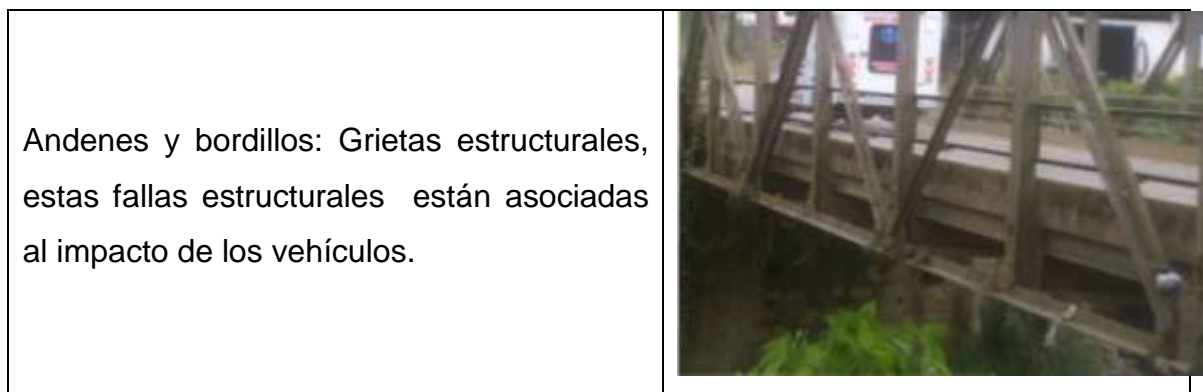
Fuente: Los autores

Figura 14. Descripción de las juntas de expansión



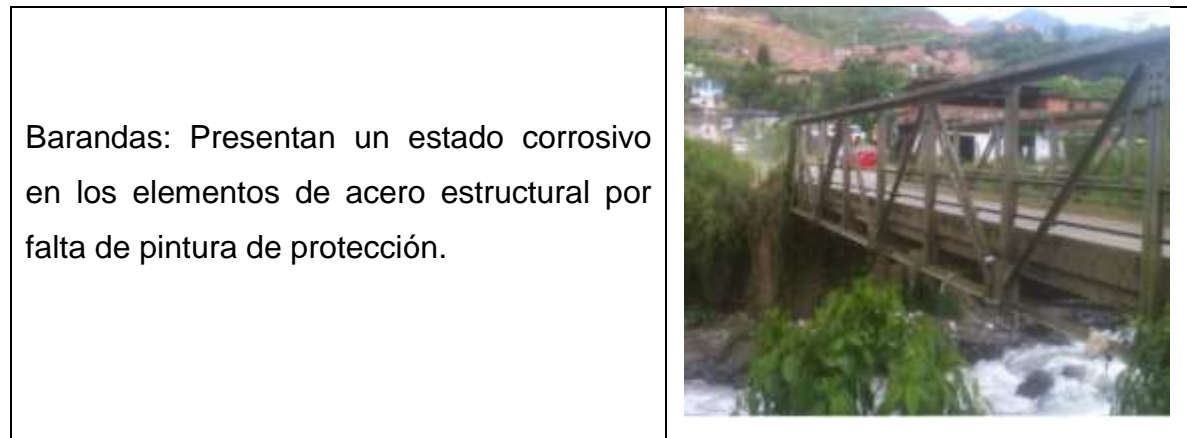
Fuente: Los Autores

Figura 15. Descripción de andenes y sardinel



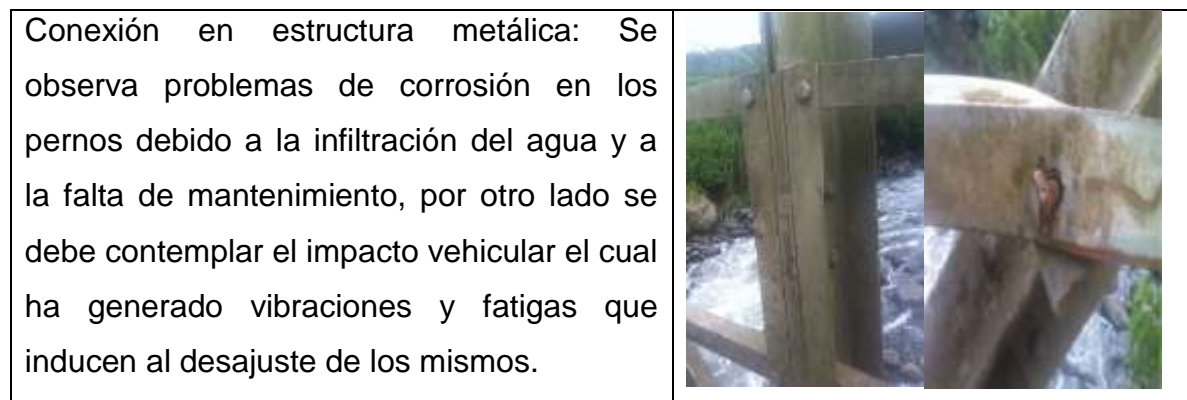
Fuente: Los Autores

Figura 16. Descripción de las barandas



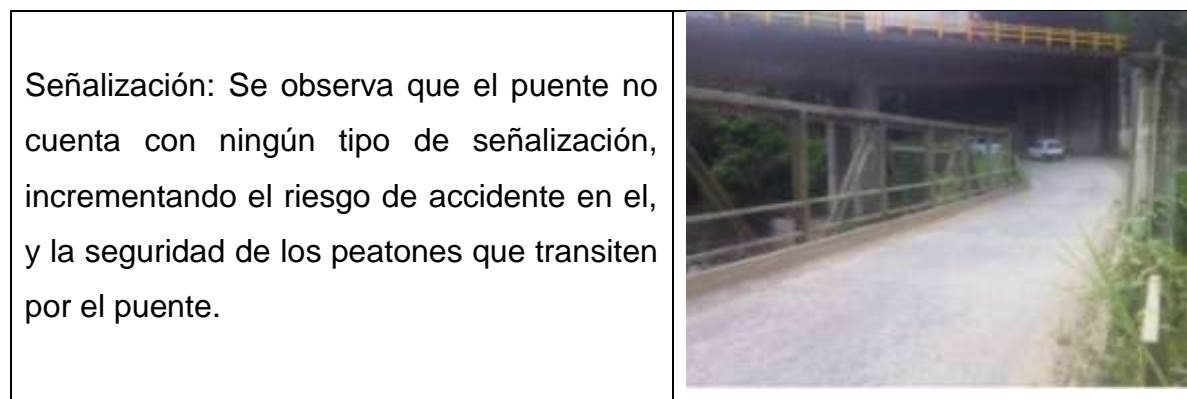
Fuente: Los Autores

Figura 17. Elementos de armadura



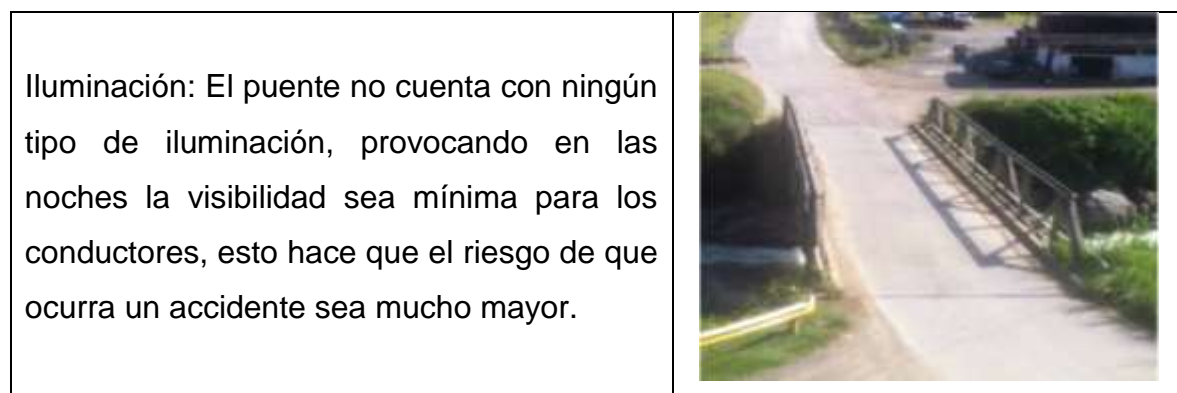
Fuente: Los Autores

Figura 18. Señalización del puente



Fuente: Los Autores

Figura 19. iluminación del puente



Fuente: Los Autores

2.5 FORMATO DE INSPECCIÓN DEL PUENTE²⁹

Estas tablas son una guía para detectar los daños puntuales que está presentando la estructura y con ello proceder a cuantificar el nivel del deterioro que presenta, para determinar los cambios o reformas que se le van a hacer al puente.

Tabla 2. Calificación de daños de acuerdo al INVIAS

CALIFICACIÓN	
0	Sin daños o con daños insignificantes
1	Daño pequeño pero no se requiere reparación
2	Existe daño, el componente funciona como se diseñó
3	Daño significativo, se requiere pronta reparación
4	Daño grave, se necesita inmediata reparación
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente o no cuenta con dicho componente

Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

²⁹ MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

Tabla 3. Calificación de los elementos del puente curtiembres

CONDICIÓN DE LOS ELEMENTOS INSPECCIONADOS							
Nro.	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN					
		0	1	2	3	4	5
1	Losa de aproximación				X		
2	Características de seguridad del tráfico						X
3	Superficie de rodamiento o pavimento				X		
4	Juntas de expansión			X			
5	Barandas					X	
6	Drenajes						X
7	Señalización						X
8	Electricidad/Iluminación						X
9	Barreras y otros dispositivos para el control del tráfico				X		
10	Losa				X		
11	Elementos principales				X		
12	Elementos secundarios				X		
13	Apoyos				X		
14	Protección de talud						X
15	Lecho del río						X
16	Signos de socavación					X	

Fuente: MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

3. PARÁMETROS A CAMBIAR

Tabla 4. Parámetros a cambiar del puente curtiembres

Factor	Variables	Manifestación	Diseñada	Propuesta	Justificación	Observaciones
Entorno	Viva	Trafico	El valor de la carga viva, fue valorado usando una norma vigente hace 50 años aprox.	Se propone valorar la carga viva a partir del vehículo, de las toneladas especificadas en el manual de INVIAS y mediante un aforo in situ.	Teniendo en cuenta que las normas anteriores consideraban cargas menores al diseñar para vehículos de menor tamaño y capacidad, se considera que los valores de diseño originales son obsoletos para los requerimientos actuales de la estructura, por lo cual se decide determinar dichos valores haciendo uso de la norma vigente y de un aforo fundamentado en el manual de inspección INVIAS.	Paso de ser una zona rural en la época de construcción del puente a una industrial con alto tráfico de vehículos pesados. Se desconoce la valoración original de la carga, por inexistencia de registros públicos concernientes a la obra. Mayoración de carga según NRS-10
	Muerta	Peso propio	El peso propio de la estructura anterior corresponde a una armadura en acero, losa, superficie de rodadura flexible, vigas simplemente apoyadas y apoyos en concreto simple.	Se propone una nueva superficie de rodadura en concreto flexible, losa sobre vigas para el apoyo transversal, vigas simplemente apoyadas para el longitudinal y cabezales pequeños, todo en concreto reforzado.	Partiendo del avanzado deterioro de la superficie de rodadura, corrosión de la estructura en acero (apoyo transversal), elementos en concreto diseñados con cargas infravaloradas (explicado en casilla entorno-justificación).	Se desconoce la valoración original de la carga, por inexistencia de registros públicos concernientes a la obra. Mayoracion de carga según NRS-10

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. (Continuación)

Factor	Variables	Manifestación	Diseñada	Propuesta	Justificación	Observaciones
Entorno	Muerta	Instalaciones adicionales	Inexistentes	Alumbrado y drenajes	Para un adecuado bombeo de la vía y condiciones seguras de movilidad en horas de la noche.	Manual de diseño de vías en concreto asfáltico INVIAS
	Ocasional	Sismo	Inexistente	Analizada por estudio dinámico en función de la masa y la aceleración de la onda sísmica según zonificación sísmica especificada en la NSR-10 , Capítulo A.	En los años 60's solo se realizaba el análisis por cargas estáticas y fue solo a partir de los 70's que se comenzó a implementar el análisis dinámico de las estructuras al estudiarlas como un elemento elástico.	Es una estructura de alto riesgo al no haber sido analizada dinámicamente. Es cierto que ha sobrevivido varios sismos durante su vida útil, lo que indica un afortunado pero intencional acierto.
Características propias	Geometría	Apoyo transversal	Armadura en acero, cerchas regulares de triangulo rectángulo con catetos de 3.5 y 3.22 con hipotenusa de 4.23, losa apoyada sobre sus costados en la armadura.(Mostrada en la fig1, ver arriba)	Losa de 26.5mx10mx0.30m, 2 vigas tipo A de 0.3mx0.8mx10m, 2 vigas tipo B' de 0.5mx1.20mx10m y 2 apoyos de 0.5x1.20x10m.	Modificar la geometría es implicación directa de remplazar el sistema estructural dado el deterioro de la armadura, las exigencias del mantenimiento de una estructura metálica, las condiciones de diseño con cargas infravaloradas y la ausencia de un análisis dinámico.	Es importante señalar que la geometría y los materiales son elementos que trabajan en conjunto y definen la respuesta de la estructura a las cargas. Las dimensiones de pre dimensionamiento de los elementos estructurales fueron determinadas a partir de los parámetros mínimos exigidos en la NSR-10 para el diseño de vigas.
		Apoyo longitudinal	2 vigas simplemente apoyadas	6 vigas tipo B de 0.5mx1.2mx26.5 simplemente apoyadas		

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. (Continuación)

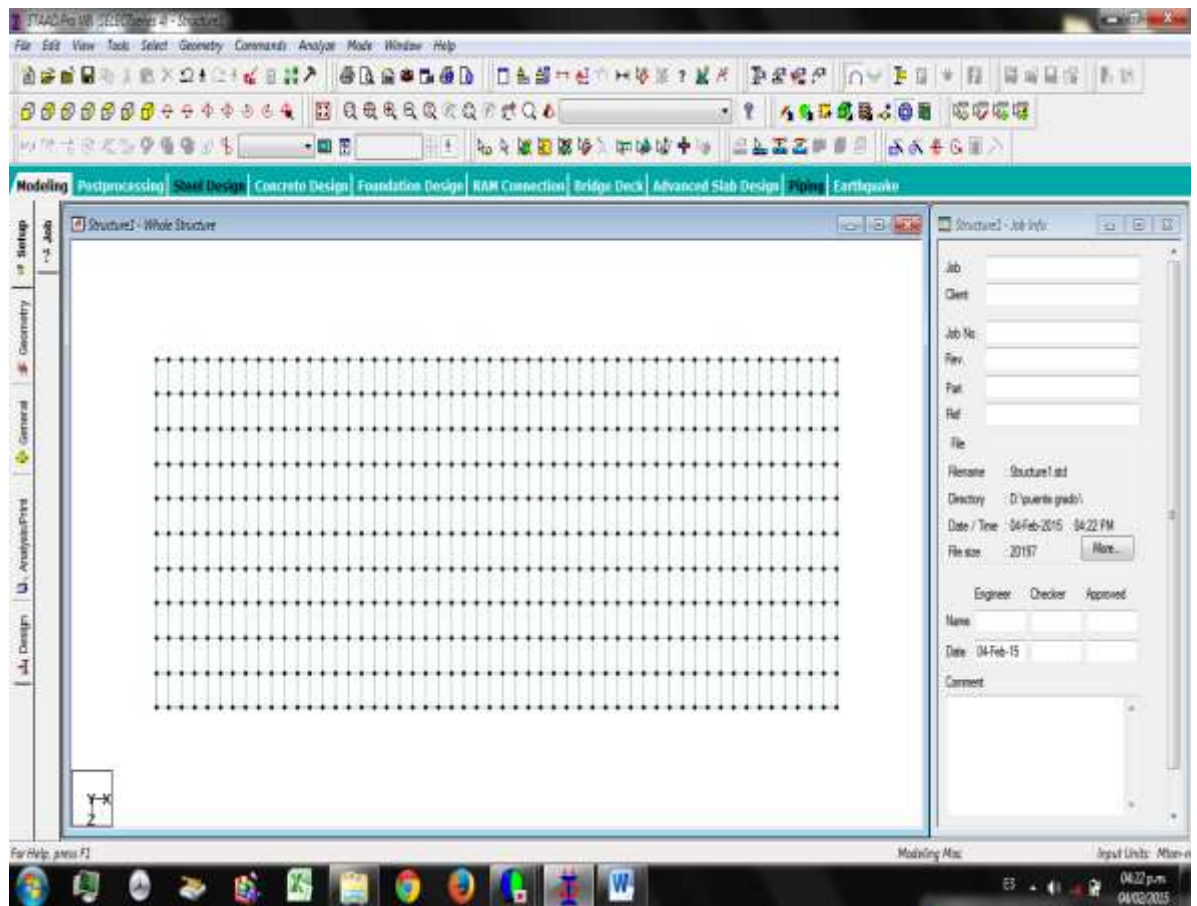
Factor	Variables	Manifestación	Diseñada	Propuesta	Justificación	Observaciones
Características propias	Materiales	Selección según capacidades mecánicas	Concreto para la losa y acero en la armadura	Todo en concreto reforzado de 21 M-Pa de resistencia.	El concreto reforzado es un material versátil y amplia resistencia a cargas.	Se determinan los parámetros físicos a partir de las especificaciones de la NRS-10.
Hipótesis de diseño		Tipos de análisis	Análisis estático de cargas por esfuerzos normales y corte.	Análisis dinámico de la estructura como un elemento elástico.	Si bien por carga estática una estructura resiste fácilmente al ser sometida a un sismo las exigencias físicas a las que se somete aumentan ostensiblemente. El análisis dinámico de una estructura pese al grado de incertidumbre natural de cualquier dato, predice con bastante exactitud el comportamiento de un conjunto de elementos bajo carga dinámica. Lo anterior fundamenta su importancia en evitar el colapso inmediato tras un sismo en aras de conservar la vida y mantener funcionales tanto como sea posibles estructuras de máxima importancia.	Se hace uso de un programa de modelado de estructuras Staad v.8 para facilitar el proceso de análisis. Se utiliza el método de la fuerza horizontal equivalente y se analiza el comportamiento de los elementos resistentes al sismo como un péndulo invertido.

Fuente: elaboración propia

4. MODELACIÓN EN STAAD V.8. DEL PUENTE PROPUESTO

Definición de la losa y la partición en secciones más pequeñas para el posterior análisis por elementos finitos, son secciones de losa las cuales tienen que ser de pequeñas para que el staad no la interprete como una viga.

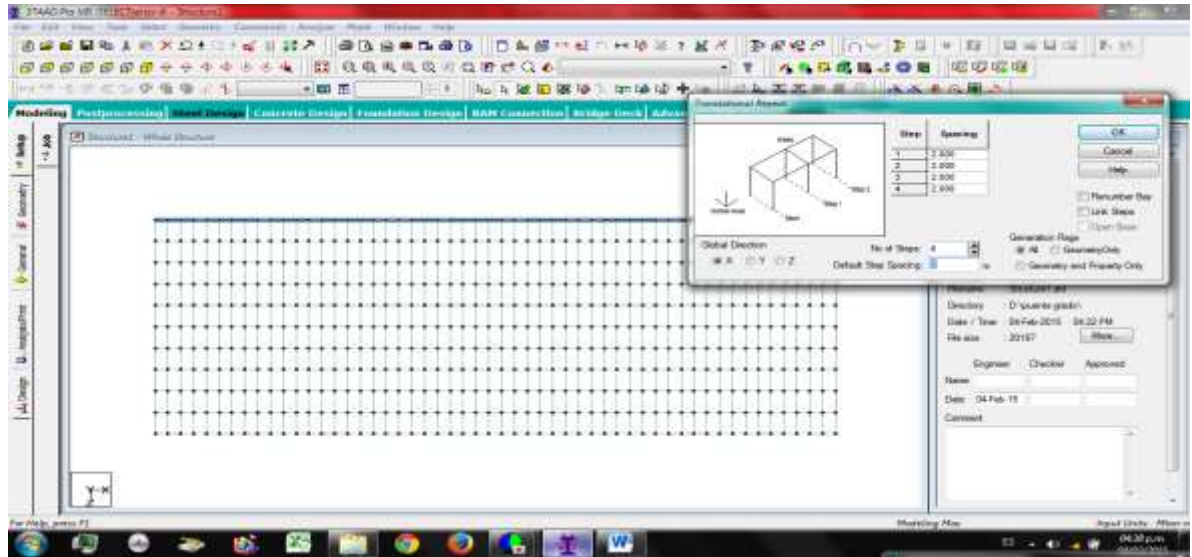
Figura 20. Definición de la losa y analisis de elementos finitos



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Después de hacer la partición de la placa por elementos finitos, se siguen adicionando elementos vigas en su sección longitudinal las cuales son las vigas de carga para la súper estructura del puente, haciendo un recorrido con el comando adición de elemento viga por los nodos exteriores.

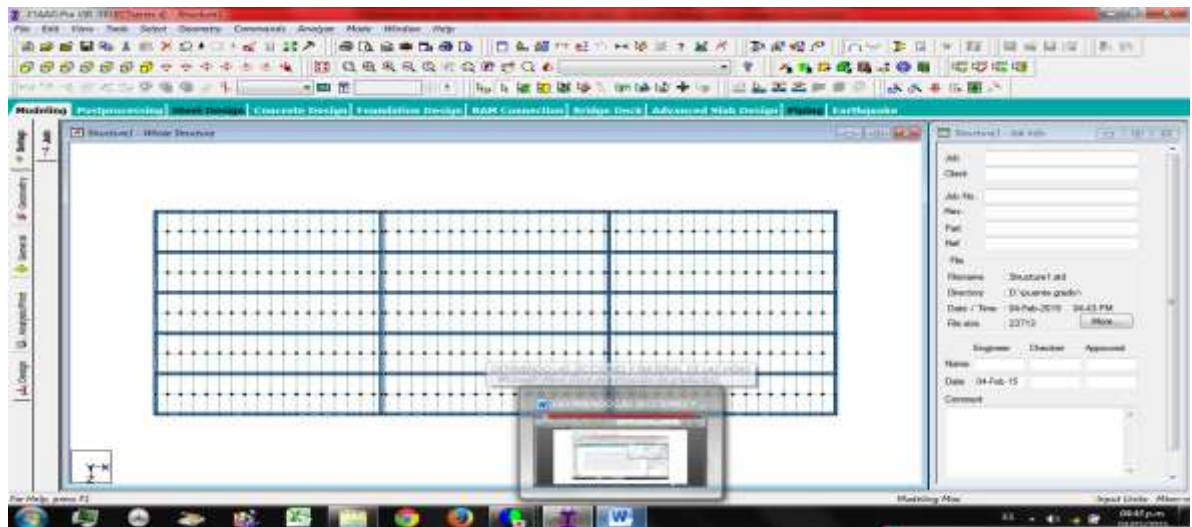
Figura 21. Adición de vigas longitudinales y transversales



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Esta imagen es la demostración gráfica en la cual se muestra la adición de los elementos vigas que conforman la estructura del puente, tanto los elementos longitudinales y transversales adicionados son elementos independientes que van de un nodo inicial a un nodo final en línea recta.

Figura 22. Vista de las vigas longitudinales y transversales

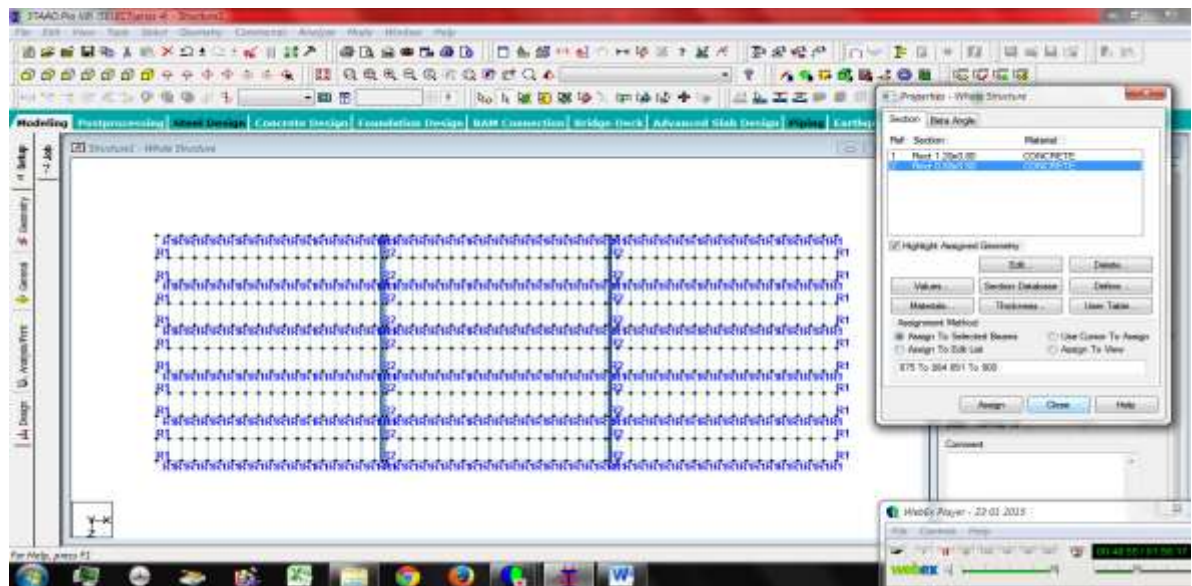


Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

En este paso se le dan las características físicas a los elementos, tales como su sección y su material, para la propuesta donde se utilizan vigas en concreto con unas secciones de:

- 1.20 x 0.80 mts (R1) son las vigas perimetrales y las internas longitudinales identificadas el símbolo R1.
- 0.8 x 0.5 mts (R2) son las dos vigas internas transversales identificadas con el símbolo R2.

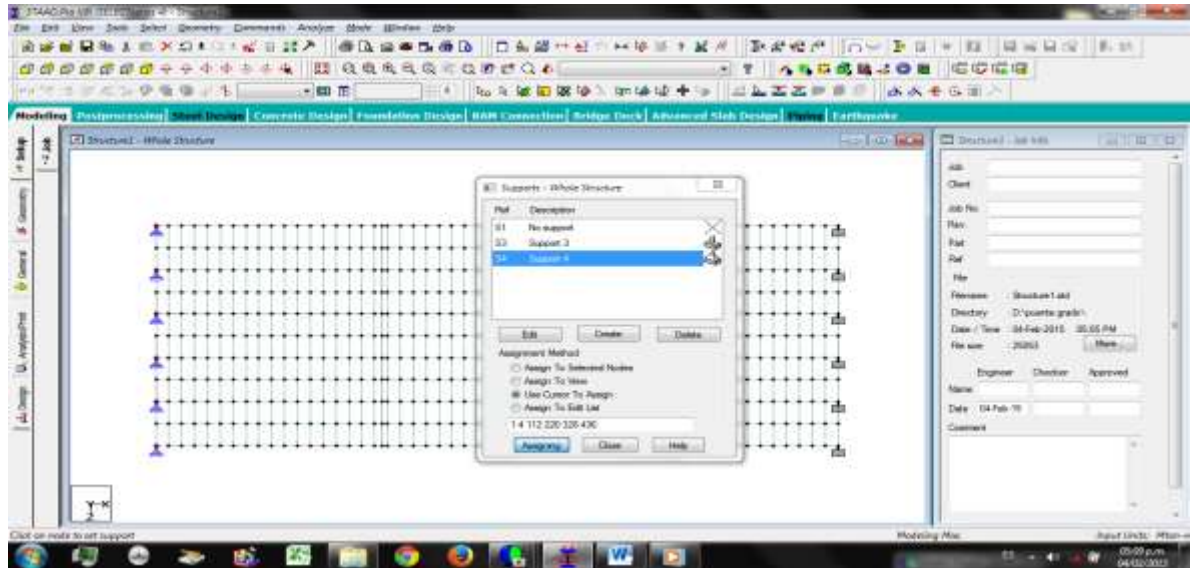
Figura 23. Asignación de materiales y dimensiones a las vigas



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

En esta imagen se muestra la definición y la adición de los apoyos para el puente los cuales son de dos tipos los móviles y los empotrados, los empotrados son los apoyos en la parte derecha de la imagen que van en cada nodo donde llega un elemento viga, al igual que en la parte izquierda de la imagen con la diferencia que los apoyos son de tipo móvil los que ayudan a dispersar el esfuerzo producido por el puente a la hora de una aplicación de una fuerza sísmica.

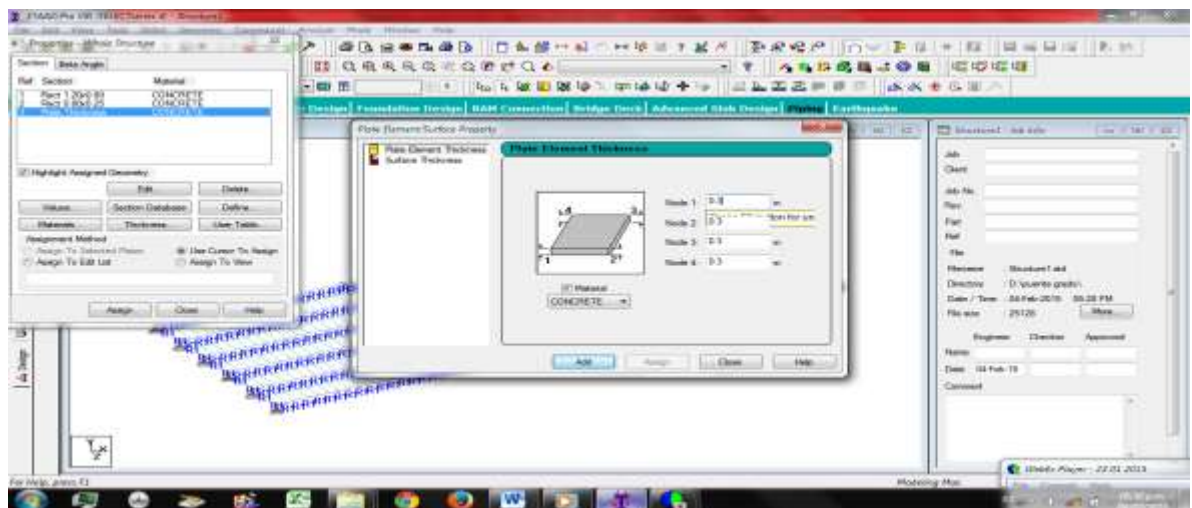
Figura 24. Adición y definición de soportes



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Como se muestra en la primera imagen se divide la placa de la súper estructura del puente en elementos más pequeños, denominados elementos finitos, a los cuales se les debe atribuir características como a las vigas en el paso anterior, es decir, un espesor y un material para cada división.

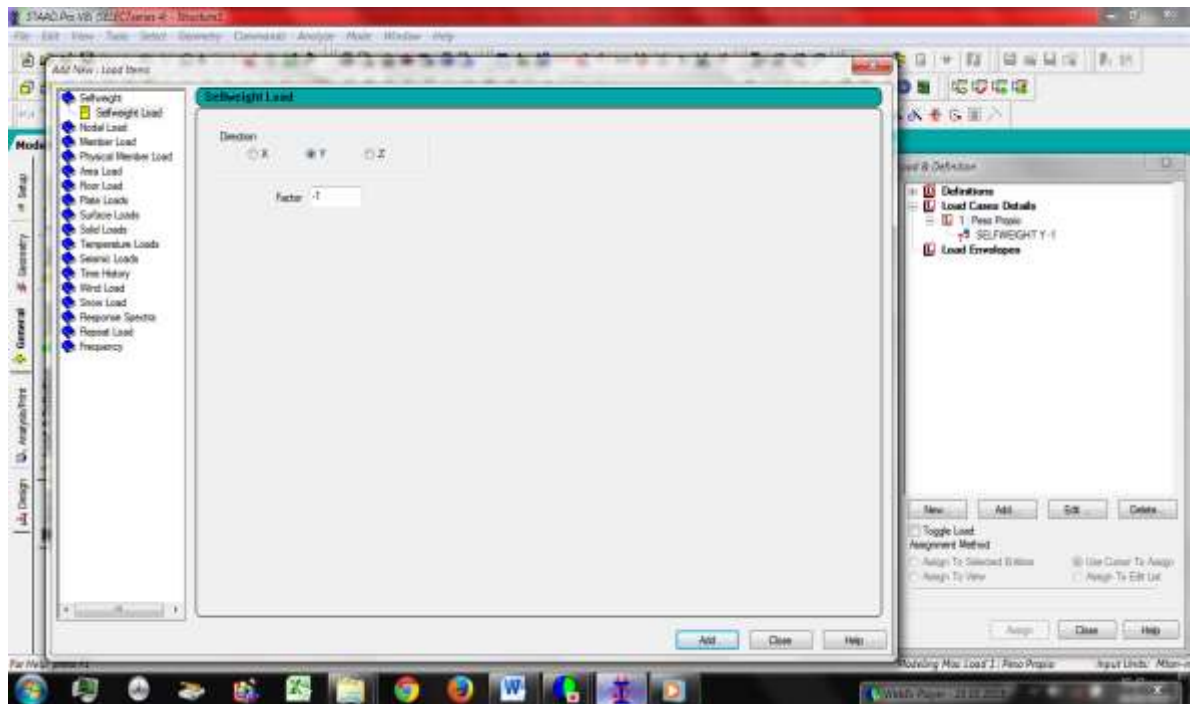
Figura 25. Adición de las propiedades de la placa



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Todos los elementos tienen las características de secciones y materiales, el siguiente paso es definir y dar cargas a todos los elementos que conforman el puente, el programa STAAD por defecto al definir el tipo de material para el elemento proporciona la carga propia de este, por ello queda entonces seleccionar y adicionar la carga por la pestaña comandos en la opción adicionar carga, en nuestro caso el material que está constituido el puente es solo concreto.

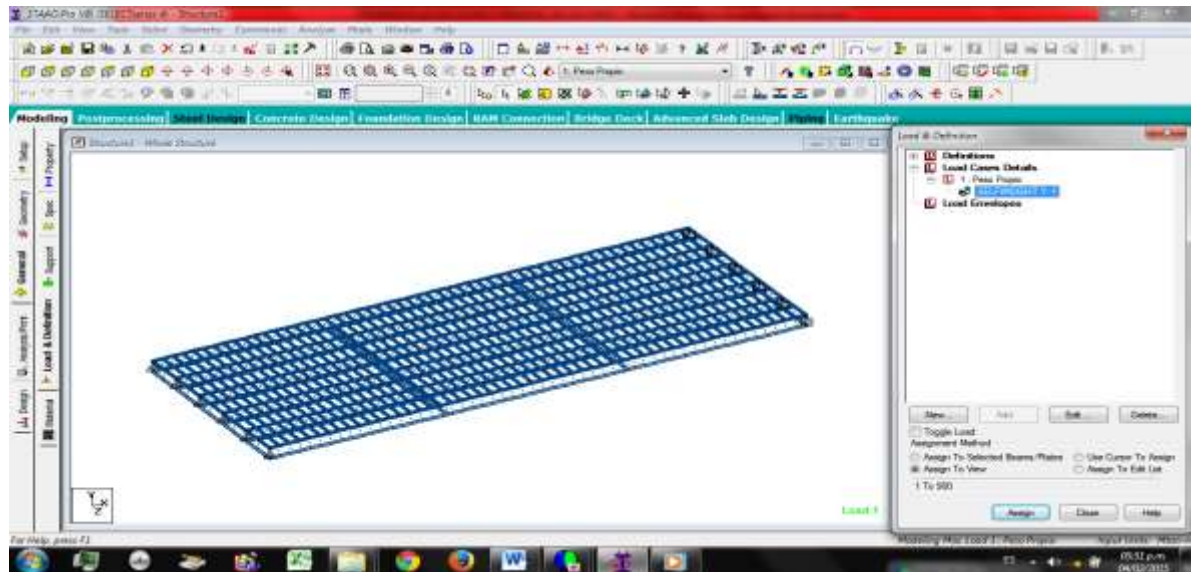
Figura 26. Adición de la carga propia



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Esta imagen es la ilustración de la estructura después de la asignación del peso propio.

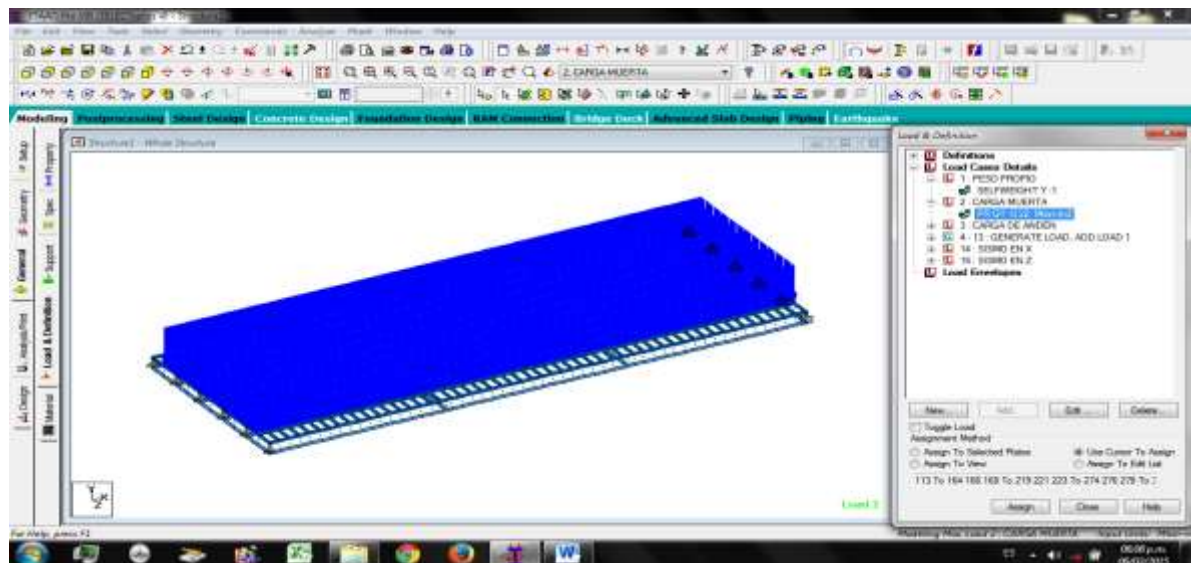
Figura 27. Vista de la estructura con la carga propia



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

El siguiente paso es definir la carga muerta o mejor adicionar la carga muerta a la estructura la cual se aplica por la pestaña en la parte derecha de la imagen por la opción new, la cual queda abierta después de la adición del peso propio.

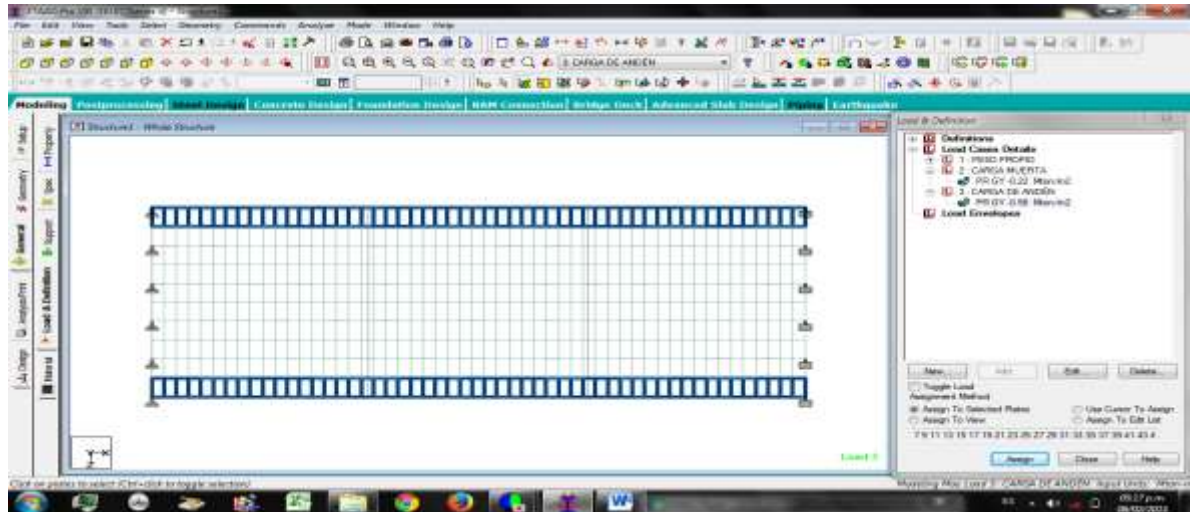
Figura 28. Asignación de la carga muerta



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Al diseño de puente se agregan dos andenes para tránsito peatonal los cuales, es necesario tener en cuenta en la modelación de la estructura, adicionando su carga en los extremos donde se ubican.

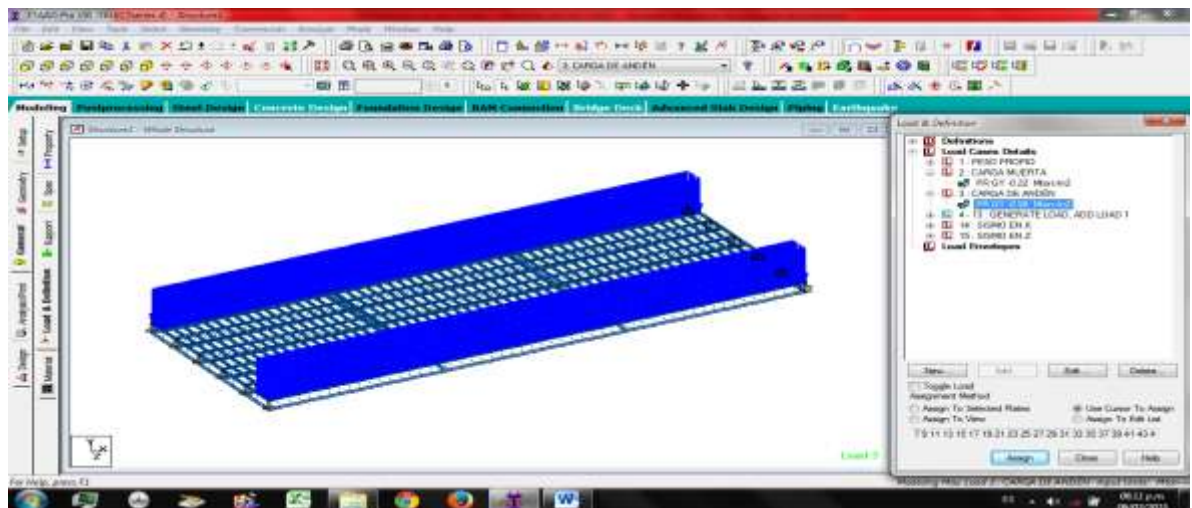
Figura 29. Adición de la carga del andén



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Ilustración de la carga distribuida de los andenes sobre la estructura del puente.

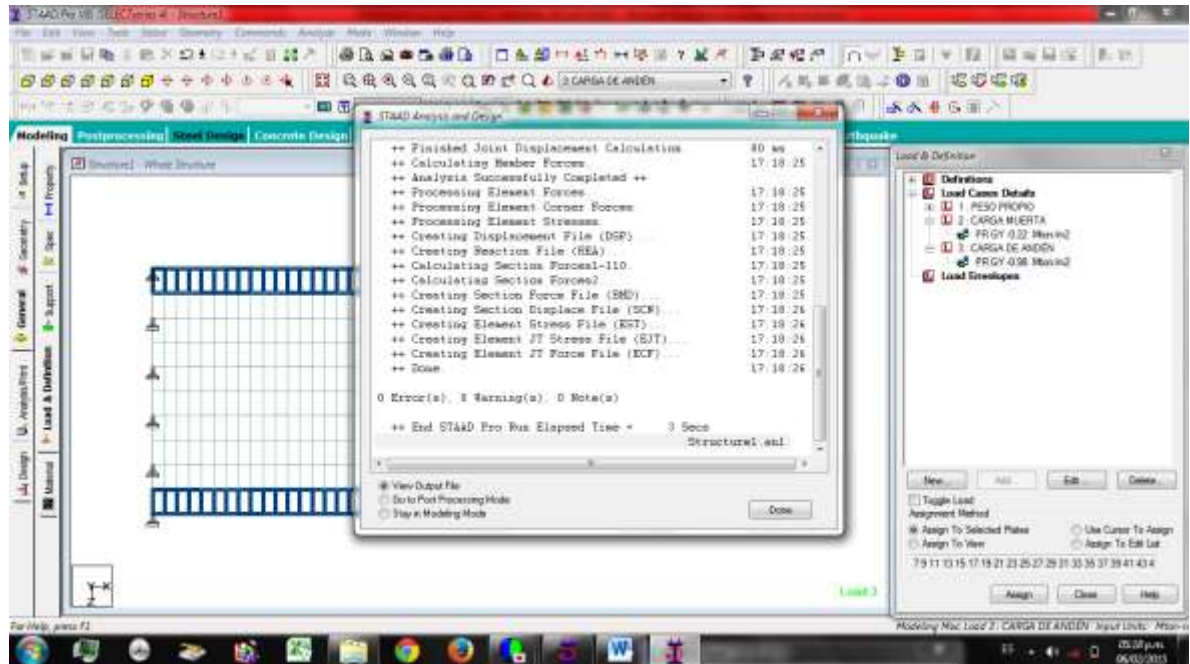
Figura 30. Vista de la estructura con la carga de los andenes



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Se realiza un análisis del modelo después de aplicar las cargas para observar si existe alguna anomalía o para detectar alguna falla en el sistema propuesto, después de correr el programa se observa que no tenemos ningún error ni advertencia en nuestro modelo.

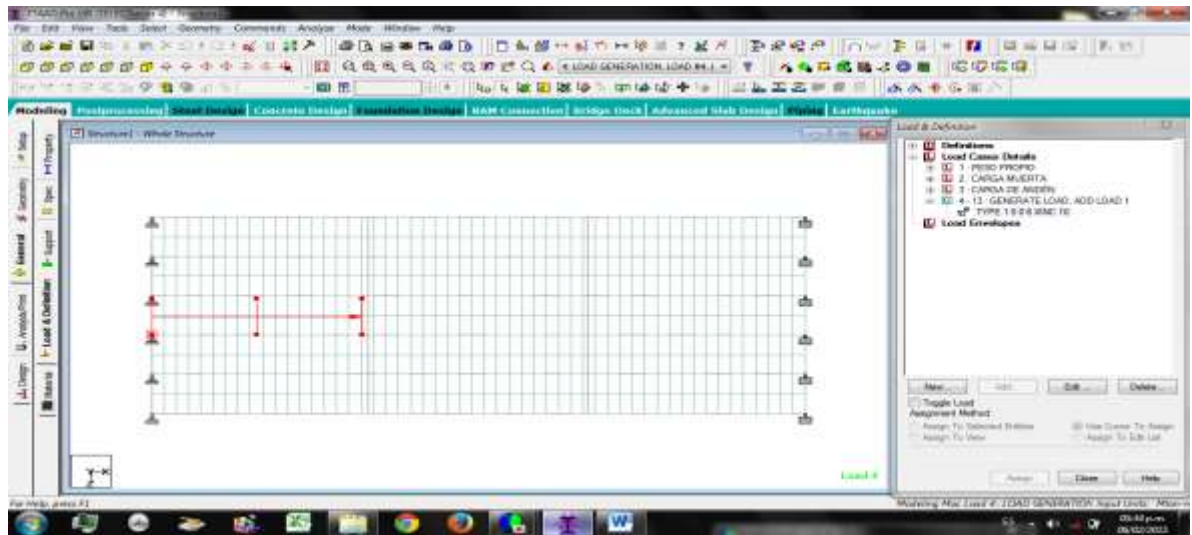
Figura 31. Análisis de las cargas instaladas



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Después de tener las cargas aplicadas por los elementos propios del puente, es necesario agregar varias cargas externas como ejemplo la carga vehicular que en este caso la tomamos con un tipo de camión HS20 que según el estudio de tránsito y transporte es el vehículo más pesado que transita por esta zona.

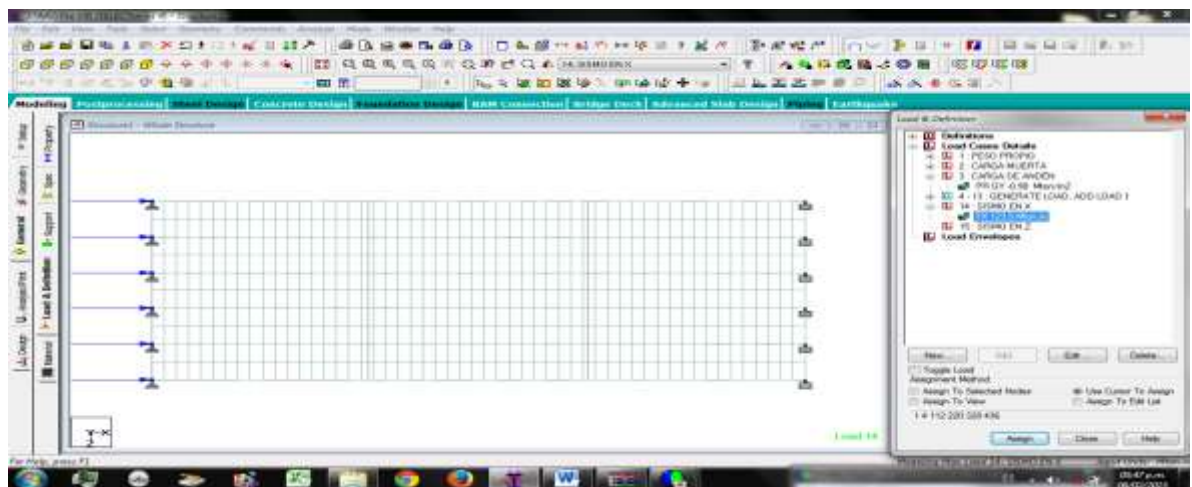
Figura 32. Asignación carga de vehículo



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

El siguiente paso es aplicar la carga o fuerza sísmica expresada sobre un eje x en sentido positivo, es solo una manera de expresarla, se seleccionan los nodos o apoyos sobre el eje x, se determina el valor de la carga sísmica mediante la norma correspondiente, en este caso para nuestros cálculos usamos la norma sismo resistente actual NSR10.

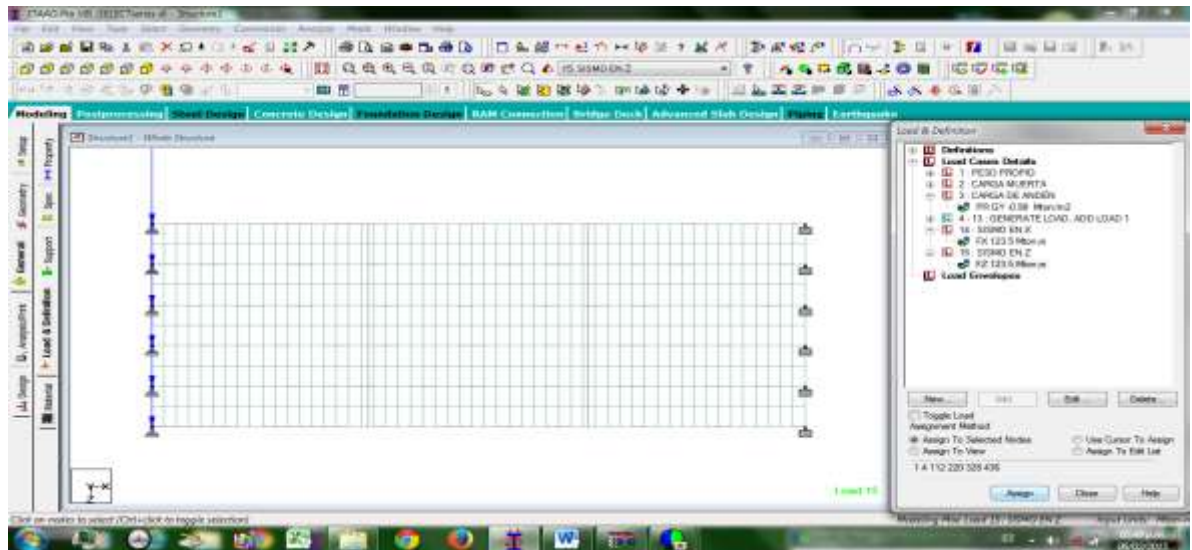
Figura 33. Adición de la carga del sismo en X



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

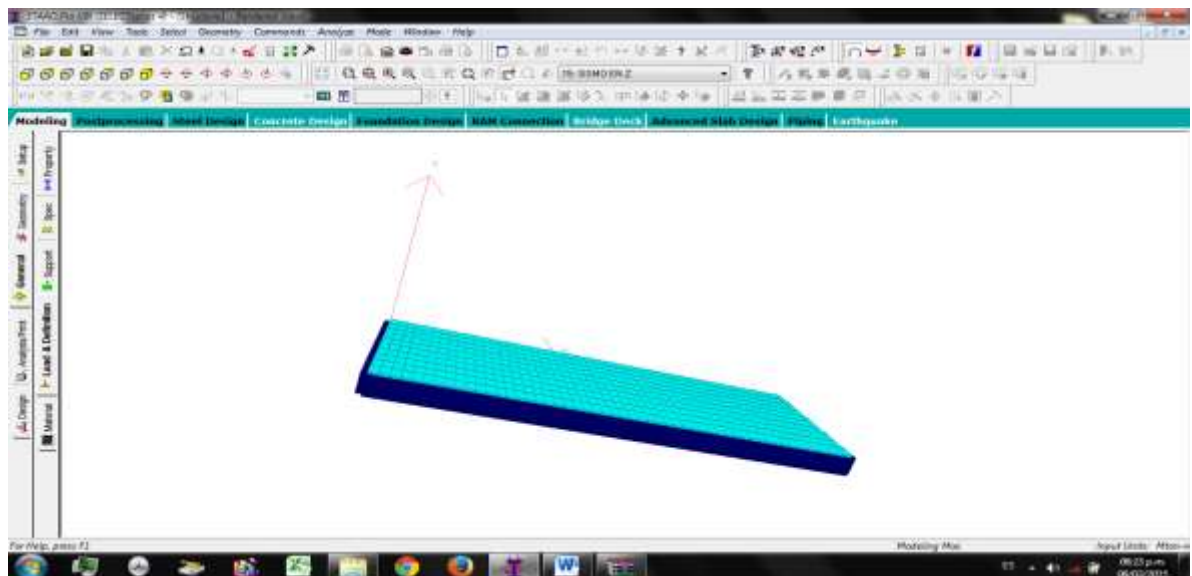
Para efectos de seguir representando la reacción del puente durante un sismo se aplica la misma fuerza que tenemos en el plano anterior, ahora sobre el plano Z que en este caso según las coordenadas es el otro plano horizontal.

Figura 34. Adición de la carga del sismo en Z



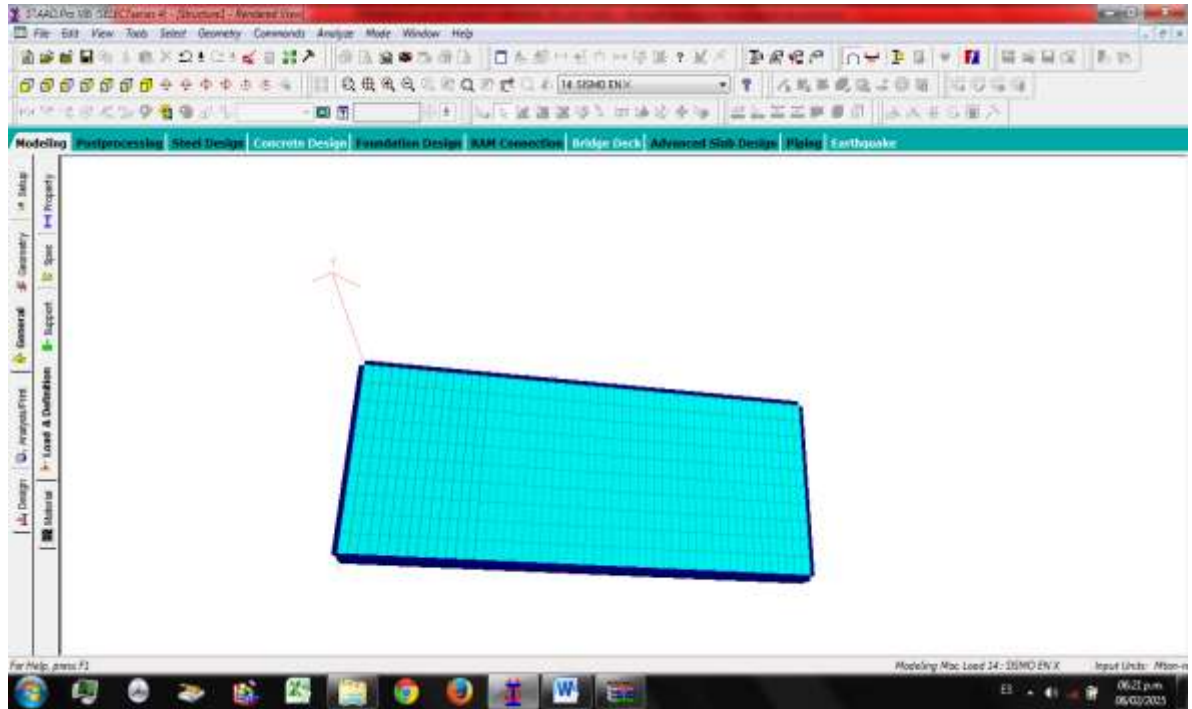
Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Figura 35. Vista de la estructura del puente en 3D parte lateral



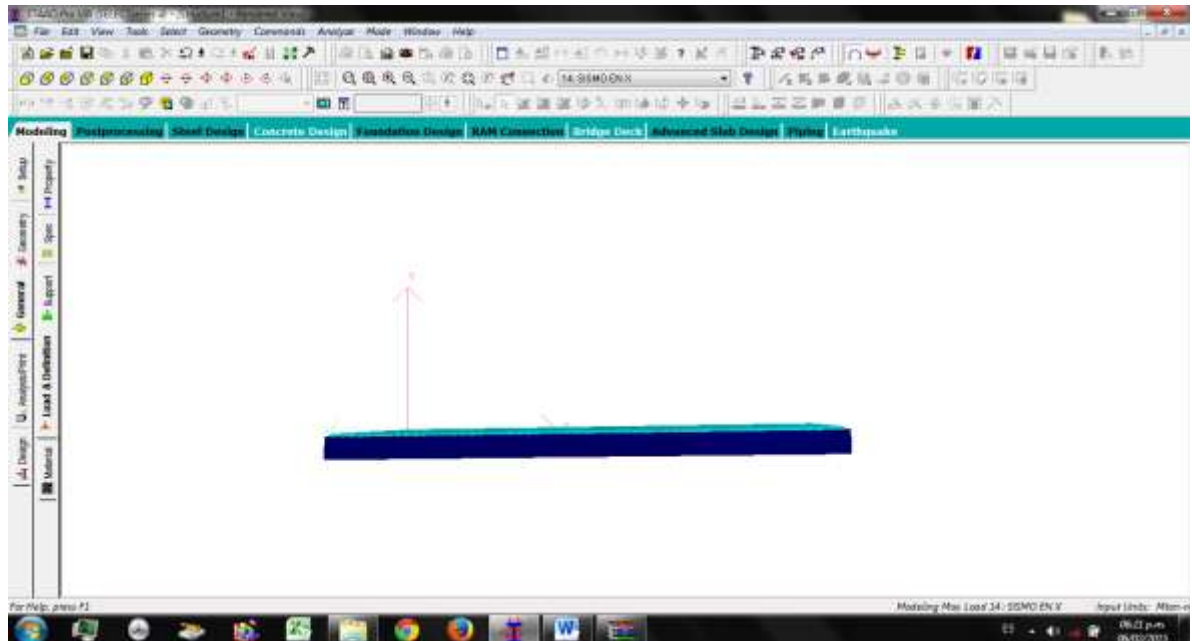
Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Figura 36. Vista de la estructura del puente en 3D parte frontal



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Figura 37. Vista de la estructura del puente en 3D



Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

Figura 38. Tabla de esfuerzos y reacciones

The screenshot shows the STAAD.Pro V8i SEECShell 8.11.00.00 software interface. The 'Results' tab is active, displaying a table of internal forces and reactions for various load cases. The table is organized into columns for Load Case (LC), Load Type (L), and internal forces (Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz) in units of kN/m and kN-m. The table is divided into sections for different load cases, including '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', and '11'. Each section contains rows for 'Loads', 'Reactions', and 'Difference'.

LC	L	Fx kN/m	Fy kN/m	Fz kN/m	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m
1	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
1	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056
1	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
2	Loads	0.000	-46.649	0.000	233.206	0.000	-517.980
2	Reactions	0.000	46.649	0.000	-233.206	-0.000	517.980
2	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
3	Loads	0.000	-51.940	0.000	259.706	0.000	-488.205
3	Reactions	0.000	51.940	0.000	-259.706	-0.000	488.205
3	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
4	Loads	0.000	-542.927	0.000	2717.430	0.000	-4853.964
4	Reactions	0.000	542.927	0.000	-2717.430	-0.000	4853.963
4	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
5	Loads	0.000	-542.927	0.000	2717.431	0.000	-7190.593
5	Reactions	0.000	542.927	0.000	-2717.431	-0.000	7190.549
5	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
6	Loads	0.000	-539.296	0.000	2696.977	0.000	-7483.593
6	Reactions	0.000	539.296	0.000	-2696.977	-0.000	7483.582
6	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
7	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
7	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056
7	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
8	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
8	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056
8	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
9	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
9	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056
9	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
10	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
10	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056
10	Difference	0.000	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.001
11	Loads	0.000	-510.268	0.000	2551.342	0.000	-4781.057
11	Reactions	0.000	510.268	0.000	-2551.342	-0.000	4781.056

Fuente: Propia, programa de modelación estructural STAAD.

5. CONCLUSIONES

- El conocimiento relacionado al Diseño de Puentes ha crecido tanto en los aspectos teóricos como prácticos, gracias a trabajos de investigación sobre las clases de puentes, estudios preliminares, métodos más racionales y precisos sobre el comportamiento estructural, en el estudio de eventos extremos particularmente peligrosos para puentes, en este caso como son los sismos.
- Al utilizar la norma colombiana de diseño de puentes de INVIAS, en análisis estructural y el dimensionamiento de elementos, se garantiza un diseño eficiente.
- El pavimento utilizado en el modelo hecho para el puente curtiembres que conecta a Pereira con el municipio de Marsella es de tipo rígido, dadas las características del proyecto, Para determinar el espesor adecuado de la capa de pavimento rígido se utilizaron los parámetros de diseño establecidos, los cuales indican que el espesor de 30 cm es el adecuado, debido a las cargas y tránsito que circula por el tramo.
- El análisis de los impactos ocasionados (significativos y no significativos), así como las medidas de mitigación propuestas, se consideran ambientalmente viables, los impactos sociales son de carácter positivo al mejorar la comunicación entre las comunidades cercanas a la zona.

6. RECOMENDACIONES

- Propender que la protección ambiental sea prioritaria en la ejecución de cualquier obra, además es de suma importancia que todo tipo de desechos que genere la ejecución sea controlado y depositado en lugares con autorización para su manejo.
- Considerar que en el sitio donde se va a llevar a cabo la obra, al momento de la ejecución del proyecto cuente con un adecuado control de calidad, lo cual garantiza el éxito del rediseño.
- Involucrar directamente a la comunidad dentro del proceso constructivo podría evitar un incremento en los costos de mano de obra y a la vez crear fuentes de trabajo para los habitantes de la comunidad.
- Tener en cuenta que las condiciones de durabilidad de las estructuras dependen de varios factores, se debe tener principalmente énfasis en proveer un mantenimiento adecuado y periódico, especialmente en el pavimento, cunetas, drenajes, recarpeteo de los accesos del puente, limpieza o rehabilitación de las juntas de dilatación, limpieza o protección de apoyos, etc.

BIBLIOGRAFÍA

LOPEZ, Israel. "Máquinas y mecanismos, ensayo: grados de libertad."
<http://graadoslibertad.blogspot.com/>

MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PUENTES Y PONTONES
file:///C:/Users/HP%20-%20240/Downloads/docu_publicaciones4.pdf

MILIARIUM INGENIERIA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. "Tipos de puentes".
<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Puentes/TiposPuentes.asp>

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2003. Manual de diseño de puentes. Lima. 2003, págs. 10-11

NARRO JARA, Luis Fernando. "Ingeniería Antisísmica, Dinámica Estructural". Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ingeniería y arquitectura.
<http://es.scribd.com/doc/245508834/ingenieria-amtisismica>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA <http://lema.rae.es/drae/?val=puede>

SÁNCHEZ, Fernando. Curso Análisis y Diseño de Puentes. Universidad Autónoma de México. Pereira. 2015.

SORACA REYES, Blanca. Diseño del puente los yopos. En línea [Citado el: 30 de FEBRERO de 2015.]
<file:///C:/Users/Jonathan%20Wayow/Downloads/112-386-1-PB.pdf>

TREJO MOLINA, Francisco de J. "Estudios preliminares para el diseño de puentes" <http://ingenieriacivilcoatza.blogspot.com/2008/10/estudios-preliminares-para-el-diseo-de.html>

----- Scribe. [En línea] [Citado el: 30 de Febrero de 2015.]

<http://ingenieriacivilcoatza.blogspot.com/2008/10/estudios-preliminares-para-el-diseo-de.html#>

WILLIAM L-S. Scribe. [En línea] [Citado el: 30 de FEBRERO de 2015.]

<http://es.scribd.com/doc/105068189/Estudios-preliminares-para-puentes#scribd>

<http://civilgeeks.com/2014/08/03/que-es-una-falla-estructural/>

<http://definicion.de/rigidez/#ixzz3QhBnsMEB>

<http://es.scribd.com/doc/144316746/1-Modelos-Matematicos-en-Puentes#scribd>

http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_viabilidad

<http://www.celsa.com/Pdf/productos/1-ductilidad.pdf>

http://www.ciens.ula.ve/matematica/estudiantes/pdf/tesis_anteriores/Tesis_BarroetaYelitza.pdf

http://www.construmatica.com/construpedia/Colapso_estructural

<http://www.um.edu.ar/um/fau/estructura5-anterior/DISENO.htm>